PHYSIOLOGISCHE ÜBUNGEN UND DEMONSTRATIONEN

FÜR STUDIERENDE

VON

DR. ROBERT TIGERSTEDT

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT HELSINGFORS (FINNLAND)

Herrn Professor Dr E. H. Starling
mit vielen Grüssen
vom Verf.

MIT 327 ABBILDUNGEN IM TEXT

LEIPZIG
VERLAG VON S. HIRZEL
1913

PHYSIOLOGISCHE ÜBUNGEN UND DEMONSTRATIONEN

FÜR STUDIERENDE

VON

DR. ROBERT TIGERSTEDT

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT HELSINGFORS (FINNLAND)

MIT 327 ABBILDUNGEN IM TEXT

LEIPZIG
VERLAG VON S. HIRZEL
1913

Vorrede.

Bei dem praktischen Unterricht in der Physiologie stoßen wir auf den Übelstand, daß die physiologischen Versuche vielfach zu kompliziert sind, um ohne eine ziemlich lange Übung mit Erfolg ausgeführt werden zu können.

Infolgedessen ist auch die Zahl der Versuche, die in einen praktischen Kursus der Physiologie aufgenommen werden, in der Regel ziemlich gering, und dieselben können daher keineswegs als eine genügende Einführung in die experimentelle Physiologie angesehen werden.

Das physiologische Praktikum muß also durch Vorlesungsexperimente und Demonstrationen in wesentlichem Grade vervollständigt werden.

Im vorliegenden Buch habe ich versucht eine Auswahl von physiologischen Versuchen zusammenzustellen, welche im Praktikum oder als Demonstrationen geeignet sind, die wichtigsten Tatsachen der einzelnen Abschnitte der Physiologie zu illustrieren. Hierbei ist indessen die physiologische Chemie nicht berücksichtigt worden, da ihre Methoden eine selbständige Bearbeitung erfordern.

Es ist nicht meine Absicht, daß alle hier beschriebenen Versuche jedesmal in der einen oder anderen Weise im Praktikum ausgeführt werden sollen. Ich habe mich aber bemüht, möglichst viele Versuche aufzunehmen, um solcherart nach Kräften dazu beizutragen, daß dieselben Experimente nicht immer wieder im Praktikum wiederholt werden, denn auch hier scheint mir sowohl für den Lehrer als für die einzelnen Studentengenerationen eine gewisse Abwechselung nützlich zu sein.

Unter den in das Praktikum aufzunehmenden Versuchen sollten, meiner Meinung nach, viele nicht von allen Teilnehmern, sondern nur von einzelnen Gruppen ausgeführt und dann, wenn sie ganz glatt verlaufen, den übrigen Praktikanten demonstriert werden. Durch diese Anordnung würde die Zahl der in jedem einzelnen Praktikum vorkommenden Versuche wesentlich größer als sonst werden können, und das Interesse der Praktikanten würde aller Wahrscheinlichkeit nach zu gleicher Zeit zunehmen.

Wie es ein Lehrbuch erfordert, habe ich hier den Stoff in systematischer Folge dargelegt. Ich will aber bemerken, daß es bei den praktischen Übungen nicht selten angezeigt ist, von der streng inhaltlichen Folge abzuweichen, da man ja an einem und demselben Tiere mehrere Erscheinungen demonstrieren kann, die miteinander nichts zu tun haben.

Auch dürfte es zweckmäßig sein, mehrere einzelne Versuche zu einer zusammenhängenden Versuchsreihe untereinander zu kombinieren, indem hierdurch die Bedeutung der einzelnen Erscheinung oft schärfer hervortritt. So kann man z. B. die Untersuchung der körperlichen Leistungen mit Bestimmungen der dabei auftretenden Veränderungen des Blutdruckes, der Herztätigkeit, der Atembewegungen, der Körpertemperatur usw. verbinden.

Die allermeisten der hier beschriebenen Versuche sind in meinem Institut ausgeführt worden und die Darstellung der bei ihnen ausgeübten Methodik stützt sich daher auf die hier gewonnene Erfahrung. Um Lücken zu vermeiden, habe ich außerdem noch aus der Literatur einige weitere Angaben und Versuche aufgenommen; die Anzahl derselben ist aber nicht groß.

Bei der Ausarbeitung dieses Buches hat mir mein Assistent, Dr. Carl Tigerstedt eine sehr wertvolle Hilfe geleistet.

Helsingfors, 30. September 1912.

Robert Tigerstedt.

Inhalt.

ERSTES KAPITEL.

Allgemeines über physiologische Versuche.

In vielen Fällen können die Leistungen der Organe und des Gesamtkörpers am unversehrten Körper ohne jeden Eingriff untersucht werden; hier braucht man also nur die Benutzung der zum entsprechenden Zweck gebauten Apparate usw. zu berücksichtigen.

In anderen Fällen lassen sich an den ausgeschnittenen Organen eines soeben getöteten Tieres vielfache Aufklärungen gewinnen; dabei muß, außer den einschlägigen, bei diesen Untersuchungen anzuwendenden Apparaten, noch die Art und Weise besprochen werden, wie die betreffenden Organe am zweckmäßigsten vom Körper isoliert werden sollen. Die dabei benutzte Präparation werde ich im Zusammenhang mit der Darstellung der speziellen Versuchsverfahren erörtern.

Endlich ist man in vielen Fällen gezwungen, am lebenden Tiere eine mehr oder minder eingreifende Operation auszuführen, um das zu untersuchende Organ in der einen oder anderen Weise zugänglich zu machen, bzw. um die Einwirkung dessen Ausschaltung auf die Leistungen des Körpers festzustellen usw. Auch hier erfordern verschiedene Aufgaben verschiedene Präparationsweisen, welche je an ihrem Ort näher darzulegen sind. Indessen haben diese Vivisektionen untereinander viel Gemeinsames, was für alle gültig ist und daher hier in einem Zusammenhang besprochen werden muß.

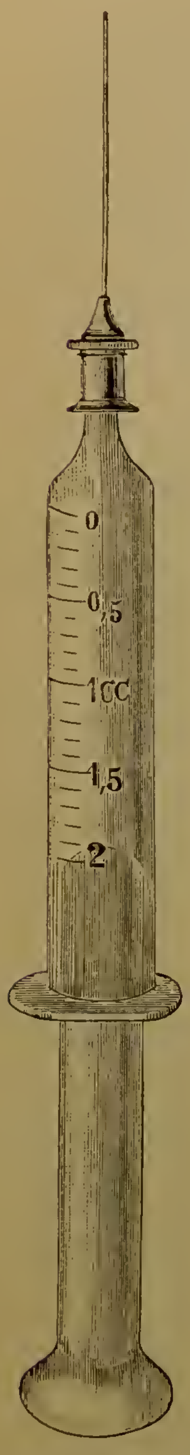
Diese gemeinsamen Umstände sind: 1. die Narkose; 2. das Aufbinden des Tieres; 3. die allgemeinen Regeln bei dem Operieren für physiologische Zwecke, einschließlich einiger spezieller Operationen von allgemeiner Bedeutung; 4. die Antiseptik und die Aseptik; 5. das Aufbewahren operierter Tiere.

1. Die Narkose.

Bei allen Versuchen, wo der Eingriff dem Tiere einen, nach dem Verhalten beim Menschen zu urteilen, nennenswerten Schmerz verursachen kann, muß dasselbe in geeigneter Weise betäubt werden. Nur da, wo der spezielle Versuchszweck dies unbedingt erfordert, wie bei der Untersuchung über die Einwirkung von schmerzstillenden Mitteln, darf man von dieser Regel abweichen.

Die bei physiologischen Versuchen geübte Betäubung findet durch Eingabe von flüssigen oder gelösten Schlafmitteln subkutan, intraperitoneal, intravenös oder per os, bzw. durch Einatmung von gasförmigen Narkotika statt.

Bei der Eingabe eines Schlafmittels subkutan oder intraperitoneal benutzt man die Pravazsche Spritze, d. h. eine je nach ihrer Größe in 0.1, bzw. 0.5 oder 1.0 ccm eingeteilte und 1—10 ccm und mehr fassende Spritze, an welcher ein Metallröhrchen von etwa 3—5 cm Länge befestigt werden kann (Fig. 1). Dies Röhrchen ist mit einer sehr scharfen Spitze versehen. Bei intraperitonealer Injektion führt man die Spitze durch die ganze Dicke der Bauchbedeckungen in die Peritonealhöhle; zum Zweck subkutaner Einspritzung erhebt man zwischen zwei Fingern eine Hautfalte und führt die Spitze in das Unterhautgewebe.



Figur 1. Spritze für subkutane Injektion.

Vor der Einführung der Spitze müssen alle Luftbläschen aus der Spritze und der Röhre entfernt werden, was dadurch erreicht wird, daß man die gefüllte Spritze mit der Spitze nach oben kehrt und den Kolben so lange vorwärts drückt, bis alle Luftbläschen herausgetrieben sind. — Nach der Benutzung soll ein Metalldraht in die Röhre geführt und dort liegen gelassen werden, weil sich diese sonst gar zu leicht verstopft und also gänzlich untauglich wird.

Beim ruhig sitzenden Tiere, z. B. Kaninchen, kann man die Spritzenspitze ohne weitere Präparation direkt in eine der großen Ohrvenen einführen.

Um ein Schlafmittel in den Magen zu bringen, kann man dasselbe mit dem Essen mischen, oder, wo dies sich nicht machen läßt, an Tieren, welche, wie das Kaninchen, nur wenig Widerstand leisten, durch einen Schlauch dorthin gießen. In letzterem Falle bringt man zwischen die Zahnreihen einen Knebel mit einem Loch in der Mitte und führt durch dieses den Schlauch in den Mund; dadurch werden reflektorische Schlingbewegungen ausgelöst und

der Schlauch in den Magen gebracht. Der Knebel (Fig. 2) dient, teils um das Maul offen zu halten, teils um das Tier zu verhindern, den Schlauch zu zerkauen.

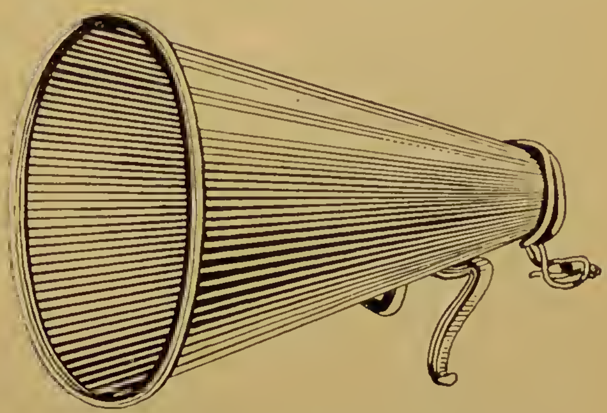
Auch kann man dem Tiere das Schlafmittel als Klystier durch eine ins Rektum hineingeführte Röhre beibringen.

Um die Narkose mittels eines gasförmigen Schlafmittels einzuleiten, bringt man das Tier in eine Glasglocke, deren Luft mittels eines Zerstäubers



Figur 2. Knebel.

oder dadurch, daß man unten in die Glocke ein mit dem betreffenden Anästhetikum durchtränktes Stück eines Badeschwammes einschließt, mit den Dämpfen des Anästhetikums geschwängert wird. Oder auch hält man vor das Maul des Tieres einen der Form der Schnauze entsprechenden Trichter, dessen äußere Öffnung durch einen mit dem Anästhetikum durchtränkten entfetteten Wattebausch locker geschlossen ist (vgl. Fig. 3).



Figur 3. Trichter zur Narkose.

Betreffend die bei verschiedenen Tieren zu benutzende Narkose usw. sei hier nur noch folgendes bemerkt.

Zur Betäubung des Frosches wird in der Regel Äther benutzt, und zwar hält man das Tier unter einer Glasglocke, bis es ganz schlaff daliegt. Wenn das Tier im weiteren Verlauf des Versuches eventuell anfängt, sich zu bewegen, hält man vor den Kopf eine kleine Düte mit einem kleinen, mit Äther durchtränkten Wattebausch.

Noch besser scheint die subkutane Injektion von Urethan zu sein. Man nimmt eine 25 prozentige Lösung und injiziert davon eine 2 Proz. des Körpergewichts entsprechende Menge.

Beim Kaninchen eignet sich das Chloral sehr gut zur Narkose. Bei subkutaner oder intraperitonealer Injektion benutzt man eine 50 prozentige Lösung; zur vollständigen Narkose sind davon je nach der Größe des Tieres 2—4 ccm, d. h. 1—2 g Chloral notwendig. Bei direkter Einspritzung in eine Vene genügen etwa 0.05—0.075 g pro Kilogramm Körpergewicht; um direkt schädliche Wirkungen auf das Herz zu vermeiden, muß die Lösung verdünnt (etwa 5 Proz.) sein und darf nur langsam eingespritzt werden.

Auch durch Urethan wird beim Kaninchen eine gute Narkose erhalten; die Dosis beträgt beim Eingeben in den Magen 3 g in 10 g Wasser gelöst. Die Narkose tritt nach 30—45 Minuten ein.

Wenn bei einer durch das eine oder andere Mittel hervorgerufenen Narkose das Tier während der Operation Zeichen von Schmerz geben sollte, dürfte es am zweckmäßigsten sein, die Betäubung durch kurzdauerndes Einatmen von Äther zu verstärken. Desgleichen kann man nach Aufbinden des Tieres, welches an und für sich dem Tiere nur eine ganz unwesentliche Unannehmlichkeit bereitet, durch Ätherinhalation die Narkose einleiten und während der ganzen Zeit des Versuches unterhalten.

Hierbei muß man aber sehr vorsichtig sein, denn bei zu starken Gaben kann das Tier sterben; man muß daher, nach eingetretener Narkose, den Narkosetrichter von Zeit zu Zeit entfernen und darf auch nicht zu oft Äther auf den Wattebausch gießen.

Bei gebührender Vorsicht und Aufmerksamkeit ist aber der Äther beim Kaninchen im Grunde ein sehr bequemes und verhältnismäßig ungefährliches Narkotikum. Dagegen wird das Chloroform vom Kaninchen sehr schlecht vertragen.

Für Hunde ist die Mischung von Morphin und Atropin (0.01 g Morphiumchlorid und 0.001 g Atropinsulfat pro Kilogramm Körpergewicht) sehr zu empfehlen; durch unbedeutende Chloroformeinatmung wird die Narkose vervollständigt. Da das Atropin die sekretorischen Drüsennerven sowie die hemmenden Herznerven lähmt, eignet sich diese Narkose leider nicht bei Versuchen, wo man beabsichtigt, die Wirkungen dieser Nerven zu untersuchen.

In diesem Falle wendet man Morphiumchlorid allein in Gaben von 0.005 — 0.01 g pro Kilogramm Körpergewicht oder auch Chloralhydrat, intraperitoneal 0.25 — 0.30 g bzw. intravenös 0.1 — 0.15 g pro Kilogramm Körpergewicht an. Auch hier wird die Narkose, wenn nötig, durch Chloroform vertieft.

Durch Chloroform allein kann man, bei nötiger Vorsicht, am Hunde eine gute Narkose einleiten und unterhalten.

Das Fassen und Aufbinden des Tieres bietet bei Kaninchen und bei kleineren Hunden in der Regel keine größeren Schwierigkeiten, insbesondere wenn man das Tier ruhig und freundlich anfaßt. Bei der Narkose durch subkutane Injektion sind die Tiere ja schon vor dem Aufbinden betäubt und verhalten sich dann wie regungslose Massen.

Unter den gewöhnlichen, zu physiologischen Zwecken benutzten Versuchstieren ist aber die Katze in der Regel ziemlich schwer zu behandeln. Wenn man keine sehr große Übung mit Katzen besitzt, bringt man das Tier unter eine Glasglocke von genügender Größe und schwängert mittels eines Zerstäubers die dort eingeschlossene Luft mit Chloroformdämpfen. Man gebe genau acht auf das Tier: sobald es aufgehört hat zu toben, lüftet man den Verschluß, bringt Bindfäden um die vier Extremitäten und

befestigt das Tier am Operationsbrett (vgl. unten S. 7). Dann wird die Narkose unter Anwendung eines Narkosetrichters fortwährend durch Chloroform unterhalten, wenn man es nicht vorzieht, Chloral — 0.1—0.2 g pro Kilogramm Körpergewicht — subkutan zu injizieren.

Statt Chloroform oder Äther allein für sich wird eine Mischung von diesen und absolutem Alkohol in gleichen Teilen vielfach zur Narkose angewendet.

Da die Großhirnrinde das materielle Substrat der „bewußten" Empfindungen und also auch des Schmerzes darstellt und jede durch Schlafmittel bewerkstelligte Narkose die funktionelle Ausschaltung dieses Organs beabsichtigt, kann eine Narkose auch durch operative Ausschaltung des Großhirns erzielt werden, was den Vorteil darbietet, daß dann jedes chemische Schlafmittel nunmehr überflüssig ist. Über die hierbei stattfindenden Operationen vgl. unten S. 19.

Bei mehreren Versuchen ist es endlich wünschenswert, zuweilen notwendig, die Beteiligung der Skelettmuskeln des Tieres auszuschließen. Dies kann durch Vergiftung mit dem amerikanischen Pfeilgift Kurare erzielt werden. Dieses lähmt nämlich die Endigungen der motorischen Nerven der Skelettmuskeln und läßt bei nicht zu großen Gaben die übrigen zentrifugalen und zentripetalen Nerven, im großen und ganzen wenigstens, unversehrt. Das Gift wird dem Tiere entweder subkutan oder intravenös beigebracht; von den Verdauungsorganen aus entfaltet es keine Wirkung.

Da das Kurare keine einheitliche chemische Substanz darstellt, lassen sich keine bestimmten Angaben über die bei verschiedenen Tieren zu gebenden Dosen mitteilen, sondern man muß die gerade vorhandene Sorte hinsichtlich ihrer Wirkung prüfen. Es ist zweckmäßig, eine 1 prozentige Stammlösung zu bereiten und diese bei der Anwendung 5 oder 10 mal zu verdünnen.

Da es gar nicht sicher ist, ob das Kurare irgendwelche narkotisierende Eigenschaft besitzt, müssen die kuraresierten Tiere in genau demselben Grade wie andere Versuchstiere betäubt werden. Es kommen hier also Chloral, Morphin, Urethan, Chloroform und Äther ganz in derselben Weise wie sonst in Betracht. Über die Art und Weise, wie die gasförmigen Anästhetika hier zu administrieren sind vgl. S. 14.

Wegen der durch das Kurare bedingten Lähmung der Atemmuskeln würde das Tier an Erstickung sterben, wenn dem nicht durch künstliche Ventilation der Lungen vorgebeugt würde. Die Methoden der künstlichen Atmung werden S. 14 beschrieben werden.

Bei Vergiftung eines Hundes durch subkutane Einspritzung von Kurare kann dies vor dem Aufbinden des Tieres geschehen. Nur muß man das Tier sorgfältig beobachten und, sobald Lähmungserscheinungen auftreten, dasselbe aufbinden und nach schnell gemachter Tracheotomie mit der künstlichen Atmung des Tieres beginnen.

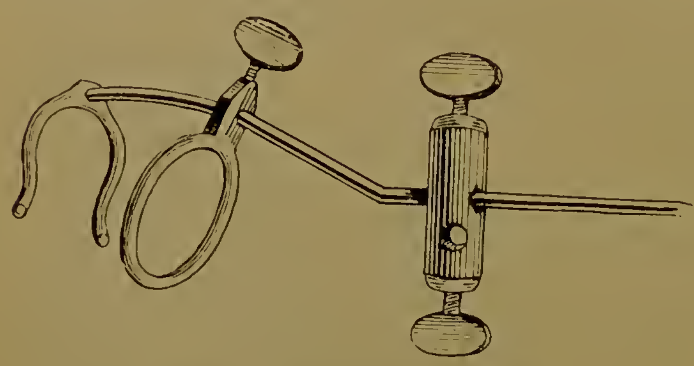
II. Das Aufbinden des Versuchstieres und die Operationsbretter.

Um bei Operationen an lebenden Tieren diese zu bewältigen, genügt es nicht, sie zu narkotisieren, sondern man muß sie außerdem noch in die Lage, welche für die bequeme und sichere Ausführung der in Betracht kommenden Operation notwendig ist, bringen und festhalten können.

Zu diesem Zwecke sind zahlreiche für die verschiedenen Tierarten besonders abgepaßte Formen von Operationsbrettern mit dazu gehörigen Kopfhaltern und Mundsperren im Laufe der Zeit angegeben worden.

Eine nähere Beschreibung dieser verschiedenen Modelle würde hier viel zu weit führen; ich will daher nur in aller Kürze einige hierher gehörige Fragen streifen.

In der Regel findet die Immobilisierung in der Weise statt, daß die Tiere an allen vier Extremitäten sowie am Kopfe in geeigneter Weise festgehalten werden. Es kommen aber, insbesondere bei kleinen Tieren, unter Umständen Ausnahmen von dieser Regel vor, indem z. B. das ganze Tier in ein Tuch gewickelt wird, so daß nur der Kopf frei und der eventuellen Operation zugänglich ist.



Figur 4. Kopfhalter, nach Tatin.

Bei Operationen am Frosch wird das narkotisierte Tier in den meisten Fällen auf eine Korkplatte gelegt und dort mittels Nadeln befestigt, welche durch die vier Fußgelenke und den Oberkiefer gestochen werden. Für besondere Zwecke kommen auch hier verschiedene Anordnungen vor, worüber näheres in Kap. XVII.

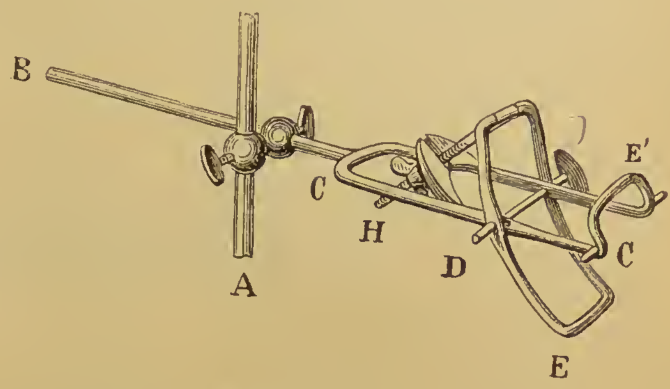
Bei den zum physiologischen Experiment benutzten Säugetieren werden die vier Extremitäten in je eine Schlinge eines Bindfadens gefaßt und mittels dieses an das Operationsbrett festgebunden. Der Kopf wird durch einen besonderen Kopfhalter, der auch am Operationsbrett befestigt wird, immobilisiert.

Der Kopfhalter von Tatin besteht aus einem Stab (Fig. 4), an dessen einem Ende ein Halbring befestigt ist, während ein voller Ring längs des Stabes verschoben werden kann. Ersterer wird hinter den Ohren an den Hinterkopf des Tieres festgedrückt und der volle Ring über der Schnauze so weit nach hinten wie möglich angebracht. Das freie Ende des Stabes wird in einem am Operationsbrett befindlichen Stativ festgeschraubt.

Einen Übelstand bietet dieser Kopfhalter dadurch dar, daß der Stab auf der oberen Seite des Kopfes angebracht werden muß; infolgedessen können unter Anwendung dieses Kopfhalters keine Operationen am Schädeldach, vor allem nicht das Freilegen des Gehirns vorgenommen werden.

Bei solchen Operationen benutzt man daher andere Kopfhalter, welche ja, wie selbstverständlich, auch in allen übrigen Fällen zur Verwendung kommen können.

Hierher gehört Czermaks Kopfhalter für das Kaninchen. Dieser umfaßt die Schnauze des Tieres und läßt das Schädeldach frei. Der Stab *D* (Fig. 5) wird in den Mund des Tieres hinter den Schneidezähnen plaziert, *E* liegt auf der oberen, *E'* auf der unteren Wand der Schnauze, und beide werden durch Anziehen der Mutter *H* fest gegen die Schnauze gepreßt.

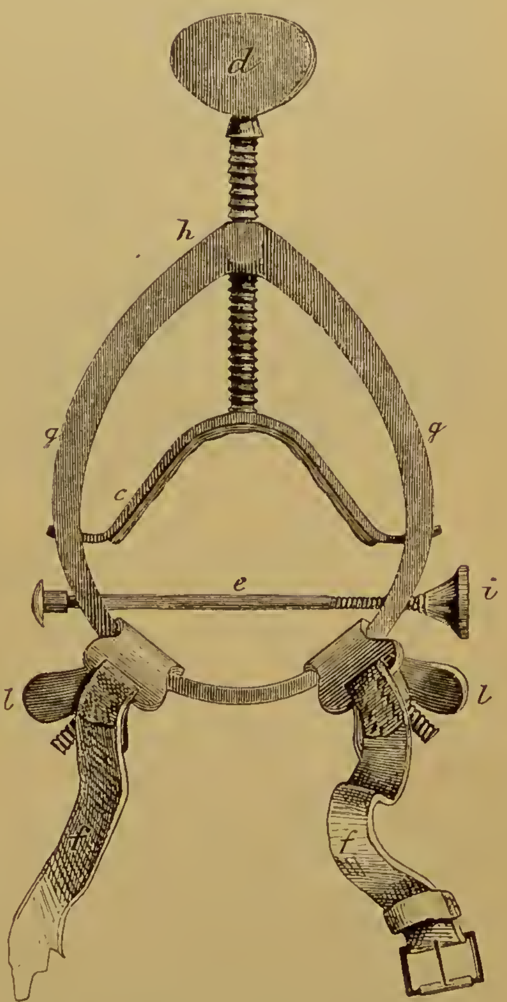


Figur 5. Kopfhalter, nach Czermak.

Bei Hunden kann man sich auf die Benutzung eines Maulkorbes beschränken, wenn keine eingreifenderen Operationen vorgenommen werden sollen, wie z. B. beim Rasieren. Zwecks stärkerer Befestigung bringt man hinter den Eckzähnen einen eisernen Knebel mit einem Loch an den beiden aus dem Maul hervorragenden Enden an und befestigt ihn mit starkem, um die Schnauze laufendem Bindfaden.

Eine weitere Entwicklung des Knebels ist in Figur 6 wiedergegeben: *e* stellt hier den Knebel dar; der Unterkiefer ruht auf dem unteren Abschnitt des ovalen Ringes *g h*; mittels der Schraube *d* wird das nach der Krümmung der Hundeschnauze geformte Stück *c* von oben gegen diese gedrückt; die am unteren Ende des Ringes befestigten Riemen *l*, *l* werden an dem Nacken des Tieres zugezogen.

Für Operationen an der Katze eignet sich ein zweckmäßig geformter Kopfhalter nach Tatin sehr gut.



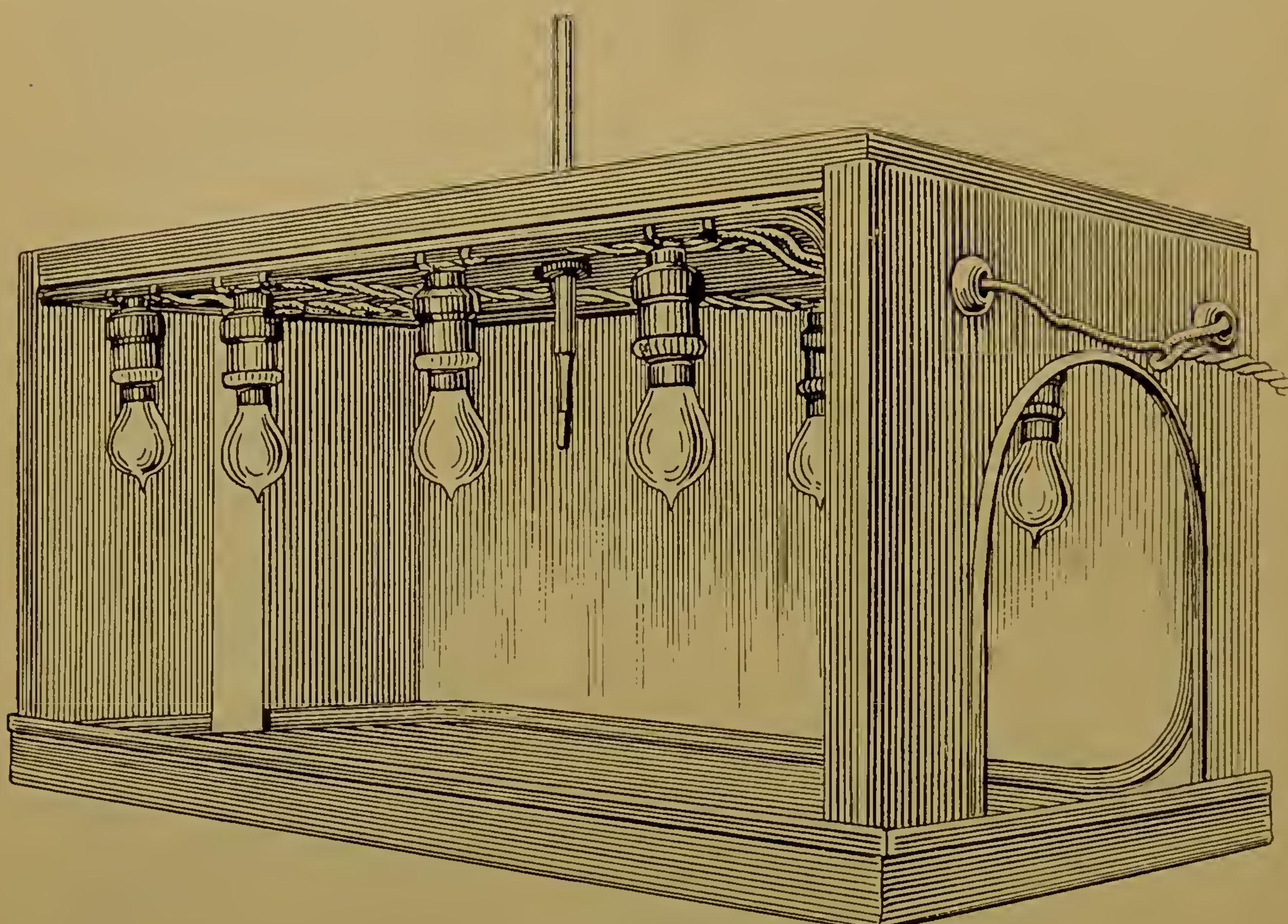
Figur 6. Kopfhalter für den Hund, nach Cyon.

Beim Operieren an kleinen Tieren, wie Kaninchen und Katzen, benutzt man Operationsbretter von entsprechender Größe, welche von vier, etwa 3—5 cm hohen Füßen getragen und auf einen gewöhnlichen Tisch gestellt werden. Auch für Hunde mittlerer Größe werden solche Operationsbretter benutzt; sonst kommen bei Versuchen an Hunden wirkliche Operationstische in Betracht.

Wie auch das Operationsbrett oder der Operationstisch gebaut sein mag, soll die Scheibe wenigstens 6 cm die Sarge überragen, damit man ohne Schwierigkeit Stative daran befestigen kann.

Unter das aufgebundene Tier soll eine kleine Matratze mit Überzug aus Wachstuch gebracht werden.

Das aufgebundene Tier, das ruhig mit gespreizten Extremitäten daliegt, kühlt sich allmählich ab, was in vielen Fällen nicht gerade wünschenswert ist. Um diesen Übelstand zu vermeiden, bedeckt man das Tier mit einer



Figur 7. Wärmekasten für Kaninchen.

Decke oder bringt es in einen besonderen Wärmekasten. Für Kaninchen benutze ich dazu einen solchen von 45 cm Länge, 23 cm Breite und 21 cm Höhe; die Kanten und Ecken sind aus Metall, die Wände aus Glas (Fig. 7). Die Erwärmung erfolgt durch bis zu 8 kleine Glühlampen von 2 Kerzen und wird durch einen Rheostat reguliert (vgl. S. 30); durch eine feine Öffnung strömt je nach Bedarf Wasserdampf aus einer Flasche mit kochendem Wasser in den Kasten. Durch einen Schlitz an der einen Kurzwand kommuniziert der Kasten mit der Außenwelt, und durch diesen können also Leitungsdrähte, Schläuche usw. in den Kasten hineingeführt werden. Der Kopf ragt frei aus der anderen Kurzwand des Kastens hervor.

III. Allgemeine Regeln beim Operieren für physiologische Zwecke.

Nachdem das Tier narkotisiert und aufgebunden ist, werden an der zu operierenden Stelle zuerst die Haare mittels einer an der Oberfläche

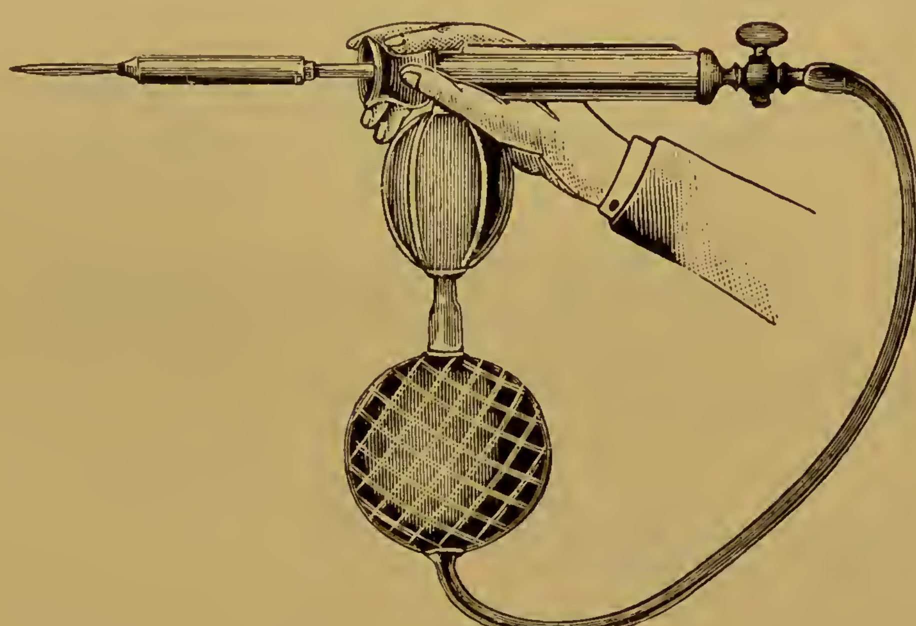


Figur 8. Coopersche Schere.

gebogenen (Cooperschen) Schere (Fig. 8) oder mittels eines Haarschneideapparates abgetragen, wobei man es sorgfältig vermeiden muß, die Haut zu verletzen.

Dann macht man mit einem scharfen Messer einen Schnitt durch die Haut, und zwar soll derselbe von einem solchen Umfang sein, daß das Operationsfeld in genügender Ausdehnung frei liegt.

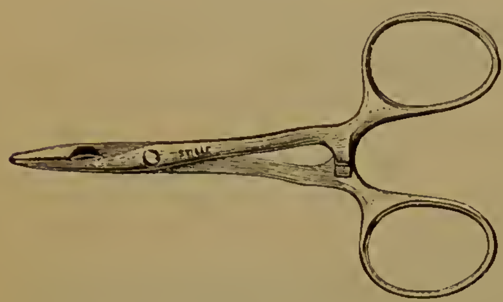
Bei dem Eindringen in die Tiefe sowie schon nach dem Hautschnitt muß man jede Blutung sorgfältigst stillen, und zwar ist dies um so mehr



Figur 9. Thermokauter.

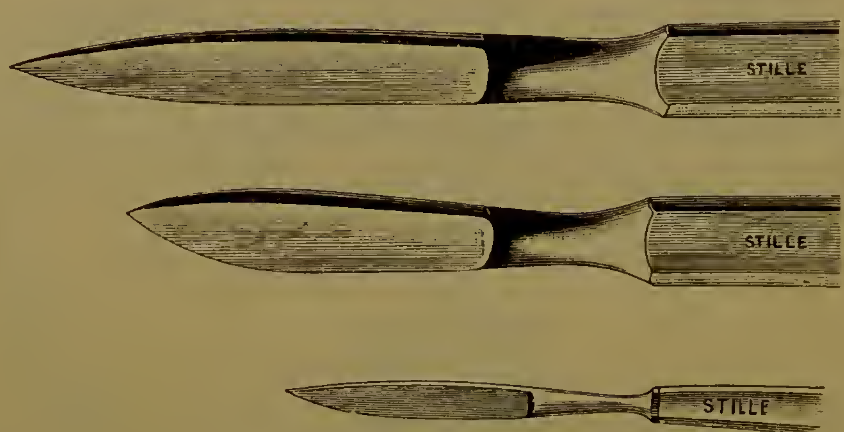
notwendig, je zarter das zu präparierende Objekt ist. Gilt es z. B. einen einen Nervenast zu finden, können schon einige Tropfen Blut das Resultat völlig vereiteln. Jedes etwas größere Gefäß ist daher vor der Durchschneidung doppelt zu unterbinden. Desgleichen größere Muskelmassen; diese werden mit zwei starken Fäden gebunden und zwischen diesen durchschnitten.

Bei der Durchschneidung von Muskeln leistet das Thermokauter gute Dienste. Dieses Instrument besteht aus einer hohlen Spitze aus Platin, die mit Platinschwamm gefüllt ist und in welche Benzindämpfe mittels eines Gummisprays getrieben werden (Fig. 9). Bei der Benutzung des Instrumentes wird die Spitze erst über einer Spiritus- oder rußlosen Gasflamme zum Glühen erhitzt; dann werden durch Drücken auf den Spray Benzindämpfe in die Spitze getrieben und unterhalten durch ihre Verbrennung das Glühen. Je nach der Menge der Benzindämpfe ist das Glühen stärker oder schwächer. Man benutzt nun die glühende Spitze wie ein Messer und schneidet mit ihr die Muskeln entzwei. Dabei entstehen sogar aus verhältnismäßig großen Gefäßen keine Blutungen, wenn die Spitze nicht zu stark erhitzt, sondern etwa tief rotglühend ist. Beim Ablösen der Muskeln von ihren Ansatzpunkten an den Knochen muß der Schnitt in einer Entfernung von etwa $^1/_2$—1 cm von dem Knochenrande geführt werden; wenn er nämlich ganz nahe dem Knochen angelegt wird, so tritt, trotz des Thermokauters, eine Blutung leicht ein.



Figur 10. Arterienpinzette.

Auch bei der Anwendung des Thermokauters müssen, wie selbstverständlich, größere Gefäße vor der Durchschneidung doppelt gebunden werden.

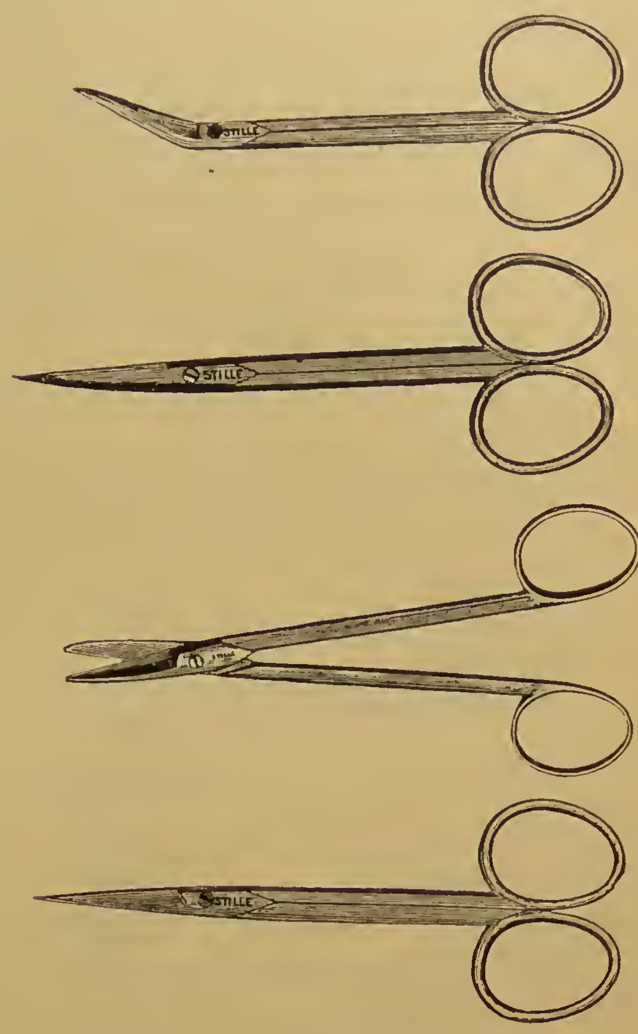


Figur 11. Messerklingen.

Eine Blutung aus einer Arterie oder Vene wird durch Anfassen mit einer Arterienpinzette (Fig. 10) gestillt; das Gefäß wird dann unterbunden und die Pinzette fortgenommen. Bei kleineren Gefäßen steht die Blutung schon durch die starke Pressung der Pinzette bzw. durch Torsion des Gefäßes still.

Eine kapillare Blutung oder eine Blutung aus mehreren sehr kleinen Gefäßen höherer Ordnung wird entweder dadurch gestillt, daß man einen Wattebausch genügend kräftig gegen die Wunde drückt, oder auch auf die Wunde etwas Eisenchloridbaumwolle bzw. Penjawar Djambi anlegt.

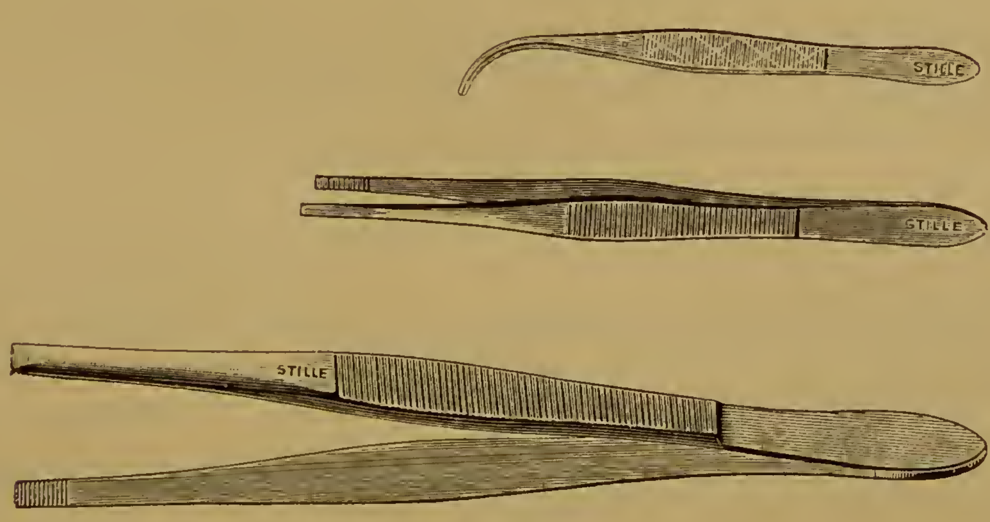
Beim weiteren Vordringen während der Operation benutzt man Messer, Scheren und stumpfe Nadeln. Dabei soll man im allgemeinen mit der Spitze des Messers oder der Schere schneiden, so daß man mit dem Auge alles übersehen kann, was vom Instrument getroffen wird. Die beistehende Figur (Fig. 11) zeigt einige bei physiologischen Operationen gebräuchliche Formen von Messerklingen.



Figur 12. Scheren.

In Figur 12 ist eine Anzahl von Scheren, welche bei den physiologischen Operationen benutzt werden, abgebildet. Die feinen Scheren sollen nur zur Eröffnung von Gefäßen bzw. zur Durchschneidung von Nerven benutzt werden, so daß sie sich immer möglichst scharf erhalten mögen. Nur zum Durchschneiden von dickeren Knochen, wie die Rippen eines größeren Hundes, kommen kräftigere Scheren zur Verwendung.

Von Pinzetten (Fig. 13) braucht man einige verschiedene Modelle: starke Pinzetten mit breiten und mit schmalen gerippten Griffen; Pinzetten, die in eine ganz feine Spitze endigen, Hakenpinzetten usw. Je nach Bedarf wählt man eine stärkere oder schwächere Pinzette.

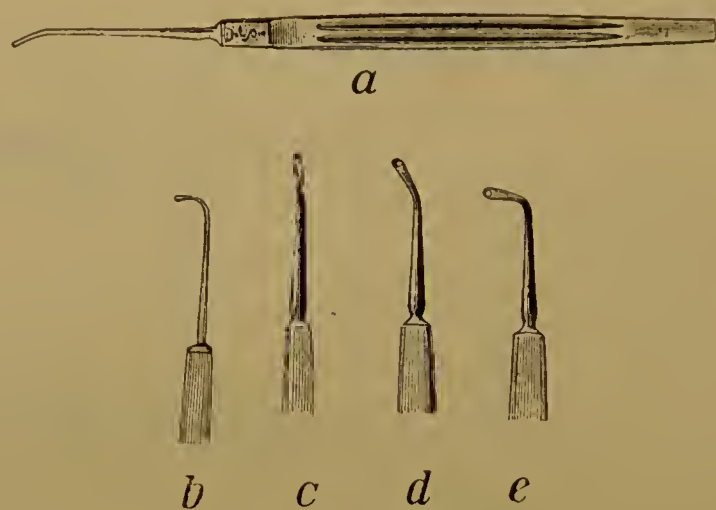


Figur 13. Pinzetten.

Die Anwendung von stumpfen Instrumenten empfiehlt sich überall, wo sie sich durchführen läßt, d. h. wo die bindegewebigen Verbindungen der

Organe, wie bei nicht zu alten Kaninchen, genügend locker und schwach sind. Bei älteren Kaninchen und besonders bei Hunden ist die Anwendung dieser Präparationsweise, wegen des derberen Bindegewebes, wesentlich beschränkter.

Figur 14 stellt einige stumpfe Instrumente dar, nämlich *a* einen schwach und *b* einen rechtwinklig gebogenen Stab (Finder), *c* eine fast gerade,



Figur 14. Stumpfe Instrumente.

d eine stumpfwinklig gebogene und *e* eine rechtwinklig gebogene Nadel; bei *c*, *d*, *e* findet sich das Öhr ganz nahe der Spitze der Nadel.

Mittels dieser stumpfen Nadeln können Fäden sehr bequem um die zu unterbindenden Gefäße angelegt werden. Um ein Gefäß doppelt zu unter-



Figur 15. Scharfe Nadel.

binden, wird die Nadel unter dasselbe geführt; in das Öhr wird ein Faden gesteckt, man hält die beiden Enden des Fadens fest, zieht die Nadel zurück und schneidet den Faden dicht am Öhr in zwei gleichgroße Teile ab.

Auch benutzt man, um Fäden anzulegen, scharfe Nadeln etwa von der in Figur 15 angegebenen Form.

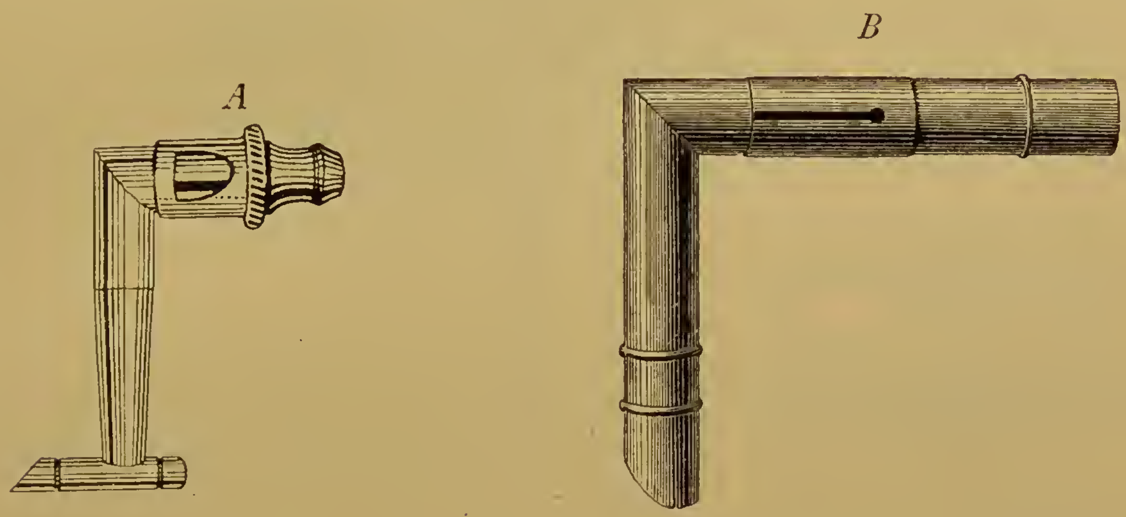
Es folgt hier eine kurze Darstellung einiger bei zahlreichen Versuchen geübten Operationen.

A. Die Tracheotomie.

Hautschnitt in der Mittellinie von dem oberen Drittel des Halses bis nahe an das Brustbein. Die Trachea wird freigelegt, indem man die vor ihr liegenden Gewebe in der Mittellinie durchtrennt. Dann führt man eine rechtwinklig gebogene, stumpfe Nadel von der einen oder anderen Seite

um die Trachea zwischen dieser und dem Oesophagus herum und bringt in deren Öhr den Faden; dabei muß man vermeiden, die längs der Trachea laufenden Venen zu verletzen. Längsschnitt in der Mitte der Trachea 2—3 Knorpelhalbringe umfassend. Mittels einer Pinzette schiebt man die Wundränder auseinander und führt nun die passend geformte Trachealkanüle in die Trachea hinein, zieht die Nadel mit dem daran befestigten Faden zurück und bindet mit diesem die Kanüle in der richtigen Lage.

Die beim Kaninchen benutzte Trachealkanüle hat die in Figur 16 *A* dargestellte Form. Das dicke horizontale Stück wird mit der Leitung zur Pumpe für die künstliche Atmung verbunden. Dieses Stück ist mit einem longitudinalen Schlitz versehen, welcher seinerseits von dem schief abgeschnittenen drehbaren Ring umgeben wird. Durch Drehung dieses Ringes



Figur 16 *A* u. *B*.
Trachealkanülen. *A*, für Kaninchen; *B*, für Hunde und Katzen.

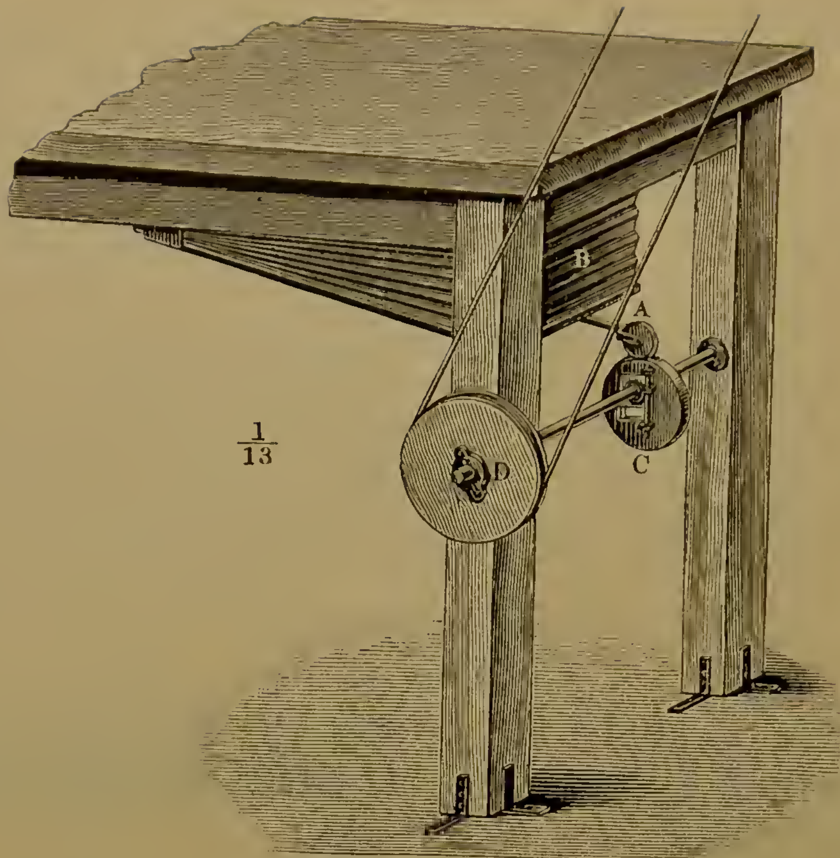
kann der Schlitz zu einem größeren oder kleineren Teil gedeckt werden und hierdurch die Menge der in die Lungen von der Pumpe hineingetriebenen Luft variiert werden. Wenn der Schlitz ganz offen ist, strömt nur wenig Luft in die Lungen, und der größte Teil der aus dem Blasebalg kommenden Luft entweicht direkt durch den Schlitz.

Nach Ende der Einblasung wird die Luft durch den Schlitz aus den Lungen herausgetrieben.

Die bei Hunden und Katzen benutzten Kanülen sind von ganz derselben Konstruktion, nur der Größe der Tiere entsprechend erheblich größer (vgl. Fig. 16 *B*).

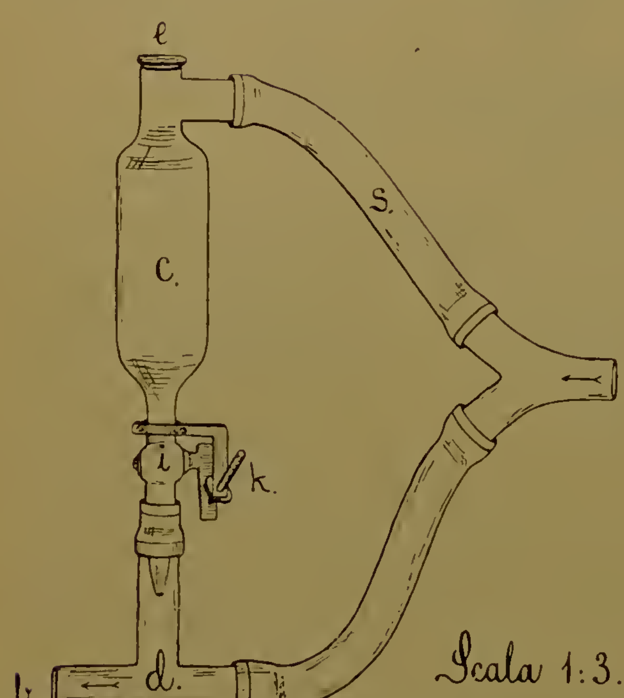
Die künstliche Atmung wird gewöhnlich durch einen Blasebalg besorgt, welcher durch irgendeinen Motor getrieben wird und in geeignetem, dem Rhythmus der natürlichen Atmung entsprechendem Takt Luft in die Lungen hineintreibt.

Unter den vielen zu diesem Zwecke gebauten Apparaten sei hier nur der von Ludwig angewandte Blasebalg beschrieben.



Figur 17. Blasebalg zur künstlichen Atmung, nach Ludwig.

Dieser wird unter einem Tisch, wie aus der Figur 17 ersichtlich, befestigt. Er wird durch einen Exzenter *C* bewegt und dieser seinerseits durch Maschinenkraft umgedreht. Durch Verstellen des Exzenters sowie durch Anwendung verschieden großer Scheiben *D* können Umfang und Frequenz der Blasebalgbewegungen je nach der Größe des Tieres innerhalb weiter Grenzen variiert werden.



Figur 18. Apparat zur Narkose bei künstlicher Atmung, nach C. Tigerstedt.

Wenn die durch flüssige Schlafmittel erzeugte Betäubung beim künstlich ventilierten Tiere nicht ausreicht, muß sie durch Äther- oder Chloroforminhalation verstärkt werden. Ein einfacher Apparat zu diesem Zwecke ist folgender.

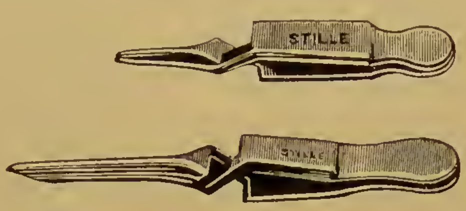
Der Apparat (Fig. 18) besteht aus dem Äther- oder Chloroformbehälter *c*, der in seinem unteren Teil in eine mit einem Hahn *i* versehene Röhre übergeht. Diese Röhre ist mittels eines Gummischlauches mit dem ⊥-förmigen Rohr *d*

verbunden, das andererseits mit dem Schlauche zum Blasebalg *a* und mit der Leitung zur Luftröhre *b* vereinigt ist. Durch die Mikrometerschraube *k* wird die Stellung des Hahnes *i* und also auch der Ausfluß des Äthers aus dem Behälter geregelt. Der Ätherbehälter wird durch die mit einem Deckel *e* geschlossene obere Öffnung gefüllt. Um einen möglichst gleichen Druck auf beiden Seiten des im Behälter eingeschlossenen Äthers herzustellen, wird der Behälter an seinem oberen Ende durch den Schlauch *s* mit der Leitung zum Blasebalg *a* vereinigt. Die Ausflußmenge wird dann durch die Stellung des Hahnes *i* bestimmt.

B. Die Einbindung von Kanülen in Gefäße.

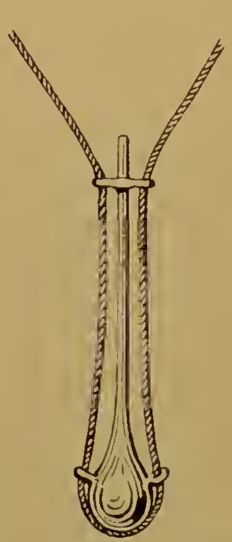
Um das Innere einer Arterie oder Vene mit z. B. einem Manometer zu verbinden, bzw. um Flüssigkeiten ins Gefäßsystem zu injizieren oder um Blutproben aus den Gefäßen zu entnehmen, muß man eine Kanüle in das betreffende Gefäß einbinden.

Dabei ist in erster Linie der Blutstrom im Gefäß temporär zu unterbrechen. Hierzu benutzt man oft einen Faden, den man wie eine Schleife um das Gefäß bindet, so daß sich die Ligatur leicht löst, wenn der Blutstrom wieder freigegeben werden soll. Dadurch wird indessen die Gefäßintima leicht beschädigt, was das Eintreten der Gerinnung begünstigt; auch kommt es öfters vor, daß die Lösung der Schleife Schwierigkeiten bereitet. Daher ist es viel zweckmäßiger, zu diesem Zweck eine kleine, aber kräftige Klemmpinzette von der in Figur 19 dargestellten Form und Größe anzuwenden.



Figur 19. Klemmpinzette.

Bei tiefliegenden Gefäßen lassen sich diese Pinzetten indessen nicht sicher anlegen, und auch das Anbringen einer einfachen Schleife kann Schwierigkeiten bereiten. Hier kommt der Ligaturstab als ein sehr nützliches Instrument in Betracht (Fig. 20). Man legt unter Anwendung einer passend gebogenen stumpfen Nadel einen Faden um das Gefäß, zieht dessen Enden durch die am Stabe befindlichen vier Ösen und knüpft diese über dem Stab zusammen. Wenn der Verschluß gelüftet werden soll, schneidet man den Faden einfach durch oder löst den Knoten, sofern der Verschluß des Gefäßes noch einmal hergestellt werden soll.



Figur 20. Ligaturstab.

Wenn eine Kanüle in ein Gefäß endständig mit der Spitze gegen das Herz gerichtet eingeführt werden soll, wird das Gefäß an seinem distalen Ende gebunden; an dem Herzende wird in genügend großer Entfernung von der distalen Ligatur eine Klemmpinzette angelegt. Da es

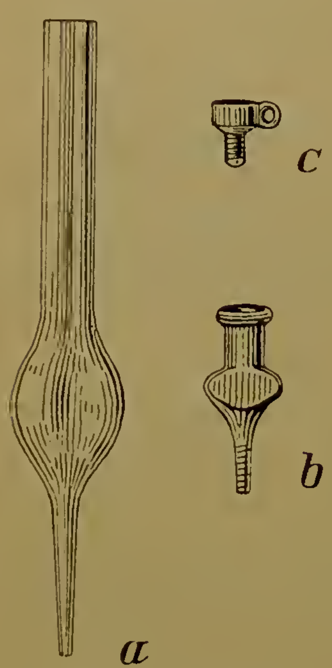
beim Anschneiden des Gefäßes vorteilhaft ist, wenn es stark gefüllt ist, bringt man den ersten Verschluß bei einer Arterie am peripheren Ende, bei einer Vene am zentralen Ende, vom Herzen gerechnet, an.

Der Faden, mit welchem das periphere Ende abgebunden ist, wird nicht abgeschnitten, sondern als Handhabe bei den weiteren Manipulationen beibehalten.

Wenn alles so weit fertig ist, legt man unter das Gefäß einen Faden zum Binden der Kanüle und macht nun mittels einer feinen und scharfen Schere an der vorderen Gefäßwand einen ⌃-förmigen Schnitt mit der Spitze distalwärts. Durch die Öffnung führt man einen stumpfen Finder ins Gefäß hinein oder faßt den Zipfel der Vorderwand mit einem spitzen Haken (Fig. 21), so daß die Öffnung gut klafft, und schiebt nun die Kanüle, deren Spitze vorher mit der anzuwendenden Lösung gefüllt ist, hinein. Der schon bereit liegende Faden wird um die Spitze der Kanüle gebunden. Um das eventuelle Herausgleiten der Kanüle zu verhindern, zieht man den Faden durch eine an der Kanüle befestigte Öse und knüpft ihn daran fest, oder auch legt man dessen beide Enden auf die Vorderwand der Kanüle, bindet um diese einen neuen Faden ziemlich fest, zieht die Enden des ersten Fadens ganz straff und knüpft sie um den zweiten Faden.



Figur 21. Spitzer Haken.



Figur 22. Gefäßkanülen.

Die bei physiologischen Versuchen benutzten Gefäßkanülen sind sehr verschiedener Art. Am einfachsten sind Glaskanülen (Fig. 22 *a*) mit einer kleinen Ampulle, welche bei Einspritzung in eine Vene dazu dient, eventuell hineingekommene Luftbläschen aufzunehmen und deren Eintritt in das Gefäß zu verhindern; bei Blutdruckversuchen können kleine Gerinnsel dorthin durch Pressen auf das Gefäß gedrückt werden. Das ins Gefäß einzuführende Ende der Kanüle ist behufs leichterer Einführung schief abgeschnitten. Um das Gefäß nicht zu verletzen, muß dieses Ende gut abgeschliffen oder abgeschmolzen sein.

Eine andere Form der Kanülen, die sich besonders gut für Injektionen in die Venen eignet, ist in Figur 22 *b* abgebildet. Sie besteht einfach aus einer ganz kleinen metallenen Röhre, welche bei der Einführung ins Gefäß auf eine gewöhnliche Pravazspritze aufgesteckt wird.

Eine dritte Form von Kanülen ist in Figur 22 *c* abgebildet. Beim Einsetzen ins Gefäß wird sie auf einen nach ihr geformten Metallstab (Mandrin), dessen abgerundetes Ende etwas vor der Mündung der Kanüle hervorragt, aufgesetzt. Ihr erweiterter zylindrischer Teil wird auf das nach ihr genau abgeschliffene Ende eines mit dem Manometerschlauch ver-

bundenen Zwischenstückes festgesetzt und der Verschluß durch einen Faden, welcher durch die Öse geht, gesichert.

Die beim Kaninchen zur Einführung von Kanülen am meisten benutzten Gefäße sind die V. jugularis externa und die A. carotis.

Die V. jugularis externa wird in folgender Weise präpariert. Hautschnitt in der Mitte des Halses; dann zieht man die Haut an der einen Seite nach außen und erblickt die betreffende Vene, wie sie aus dem Zusammentreten von zwei kleineren Venen entsteht. Mit Messer oder Schere, bzw. durch stumpfe Präparation isoliert man nun ein genügend langes Venenstück von dem umgebenden Gewebe, und zwar kann man zum Einbinden der Kanüle entweder den Stamm oder eine der Wurzeln benutzen. Da die Vene nach der Eröffnung vollständig zusammenfällt, können bei dem Einführen der Kanüle Schwierigkeiten entstehen, wenn man nicht vorher alle Scheiden der Vene mit stumpfen Instrumenten sorgfältig wegpräpariert hat. In der Regel läßt sich am betreffenden Orte immer ein genügend langes Stück finden, von dem keine Äste austreten; ist dies nicht der Fall, müssen diese vor dem Eröffnen des Gefäßes gebunden werden.

Vor dem Einführen der Kanüle muß das eröffnete Gefäß von Blutresten tunlichst befreit werden.

Die A. carotis verläuft zusammen mit dem Vagus und Sympathicus in einer Scheide zwischen dem M. sternocleidomastoideus und der Trachea. Nach Hautschnitt in der Mittellinie dringt man, am besten mit stumpfen Instrumenten, am medialen Rand des genannten Muskels in die Tiefe und schiebt denselben etwas nach außen. Man sieht dann sofort die gesuchte Arterie, führt unter sie eine rechtwinklig gebogene stumpfe Nadel und hebt sie mittels dieser aus der Wunde. Durch vorsichtige Präparation wird die Arterie von den begleitenden Nerven in einer genügenden Ausdehnung getrennt. Da die Carotis zwischen der oberen Brustöffnung und dem Abgang der Thyreoideagefäße in der Regel keine Äste entsendet, brauchen hier keine weiteren Unterbindungen vorgenommen zu werden.

C. Das Einspritzen von Flüssigkeiten ins Gefäßsystem.

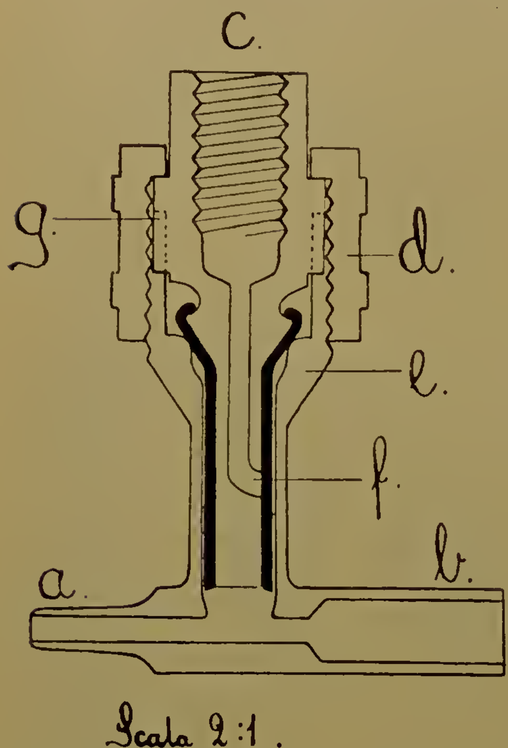
Behufs der Untersuchung über die Einwirkung verschiedener Substanzen auf den Körper sowie auch für andere Zwecke ist es oft notwendig, Flüssigkeiten ins Gefäßsystem zu injizieren. Dies kann entweder in eine Vene oder in eine Arterie geschehen.

Im ersten Falle kann man die Venenkanüle unter Anwendung eines Gummischlauches mit einer Bürette verbinden und an der Bürette die Menge der injizierten Flüssigkeit wie auch die Geschwindigkeit der Injektion beobachten und regulieren. Oder auch kann man, bei Anwendung der in Figur 22 b abgebildeten Kanüle, mittels einer daran befestigten, graduierten

Spritze die Injektion vornehmen, was sich besonders bei der Injektion kleinerer Flüssigkeitsmengen als sehr bequem empfiehlt.

Es versteht sich von selber, daß man, wenn mehrere verschiedene Flüssigkeiten in einem und demselben Versuch nacheinander injiziert werden sollen, die Kanüle nach jeder Injektion reinigen muß. Bei der Anwendung der kleinen Metallkanüle bietet sich hierbei der Vorteil dar, daß sich dies leichter als bei den Glaskanülen mit ihren verhältnismäßig langen Schlauchverbindungen machen läßt.

Da die Vene zwischen der Kanüle und dem nächsten größeren Venenast als ein blindes Endstück der Kanüle auftritt, bleibt nach einer Injektion immer eine gewisse Menge der injizierten Flüssigkeit dort stehen. Um eine vollständige Reinigung durchzuführen, ist es daher zweckmäßig, bei jedem Wechsel der Injektionsflüssigkeit zuerst ein paar Kubikzentimeter der verhältnismäßig indifferenten 0.9 prozentigen Kochsalzlösung einzuspritzen.



Figur 23. Kanüle für Arterieninjektion, nach C. Tigerstedt.

Bei jeder intravenösen Injektion gelangt die injizierte Flüssigkeit ziemlich unverdünnt ins Herz. Damit ein vorhandenes Herzgift das Herz nicht in zu starker Konzentration treffen mag, was ja in vielen Fällen den Versuch ganz vereiteln würde, muß die Injektion langsam von statten gehen und das Gift in ziemlich verdünnter Lösung benutzt werden. Dabei kann aber die verhältnismäßig große Menge der injizierten Flüssigkeit eine nicht unwichtige Veränderung des Kreislaufes bedingen: die Viskosität des Blutes wird verändert, die Füllung der Gefäßhöhle nimmt zu, und die endlichen Resultate der Einspritzung, insofern sie sich auf den Kreislauf beziehen, können daher in einem größeren oder kleineren Grade von diesen mechanischen Umständen beeinflußt werden, wodurch natürlich die spezifische Wirkung des betreffenden Giftes mehr oder weniger verdeckt werden kann.

Es ist daher in vielen Fällen vorteilhaft, die Injektion in eine Arterie zu machen; weil die injizierte Flüssigkeit, ehe sie zum Herzen gelangt, den ganzen großen Kreislauf passiert hat, kommt sie in einer ziemlich großen Verdünnung dorthin, und man kann daher die Injektion in die Arterie mit einer viel konzentrierteren Lösung als in die Vene vornehmen.

Wegen des hohen Blutdruckes in den Arterien ist es vorteilhaft, hier eine besonders konstruierte Kanüle zu benutzen. Diese wird aus vernickeltem Messing hergestellt und hat das aus Figur 23 ersichtliche Aussehen. *a* ist das in die Arterie möglichst nahe ihrem Ursprung eingebundene Ende der

Kanüle; die Leitung zum Manometer wird mit *b* verbunden. Die Injektionsvorrichtung ist den gewöhnlichen Fahrradventilen nachgebildet. Sie besteht aus der mit der Röhre *a*—*b* verbundenen Hülse *e*, in welche das an seinem unteren Teil mit einem dünnen Gummischlauch (die dicke schwarze Linie in der Figur) überzogene Rohr *c* mittels einer Schraubenmutter *d* luftdicht eingesetzt ist. *gg* stellen kleine Erhebungen an *c* dar, die in entsprechende Schlitze in *e* passen und es verhindern sollen, daß sich *c* beim Anziehen der Schraubenmutter herumdrehe. Ans obere Ende der Röhre *c* wird die gefüllte Injektionsspritze geschraubt. Diese treibt die zu injizierende Flüssigkeit in die durch den Gummischlauch abgeschlossene Röhre *cf*. Wenn der Druck hier den stattfindenden Blutdruck übersteigt, dringt die Flüssigkeit durch das Loch bei *f* heraus und tritt zwischen dem Schlauch und dem unteren Ende der Röhre in *a*—*b* hinein. Dabei empfiehlt es sich, die Leitung zum Manometer bei *b* momentan zu schließen, wenn man es nicht vorzieht, die Injektion an einer Arterie auszuführen, die nicht zur Registrierung des Blutdruckes dient. Im letzteren Falle stellt die Kanüle *a* die direkte Fortsetzung der Hülse *e* dar, und der Manometeranschluß *b* wird dabei fortgelassen.

D. Die Präparierung und Reizung von Nerven.

Bei der Präparation eines Nerven für Durchschneidung oder künstliche Reizung muß jede Zerrung peinlichst vermieden werden. Nachdem die umgebenden Teile entfernt oder in genügendem Grade beiseite geschoben sind, hebt man mit einer sehr feinen Pinzette die Scheide in die Höhe, trennt sie mit einer scharfen, feinen Schere, bringt unter den Nerv eine stumpfe Nadel und führt damit einen Faden darunter.

Gilt es den Nerv zu reizen, muß er immer erst abgebunden werden. Wenn nämlich ein nicht abgebundener Nerv gereizt wird, so weiß man in vielen Fällen gar nicht, inwiefern das beobachtete Resultat der Reizung davon herrührt, daß man die im betreffenden Nerv vorhandenen zentrifugalen Fasern gereizt hat, oder ob es die Folge einer von den zentripetalen Fasern ausgelösten reflektorischen Erregung darstellt. Beim abgebundenen Nerv ist man dagegen immer darüber orientiert, welche Fasern erregt werden.

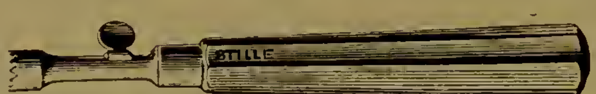
Bei Versuchen, wo mehrere nebeneinander liegende Nerven der Reihe nach gereizt werden sollen, ist es zweckmäßig, für die einzelnen Nerven verschiedenfarbige Fäden anzuwenden, so daß man ohne Schwierigkeit den gewünschten Nerv auswählen kann.

E. Die Exstirpation des Großhirns.

Wie oben bemerkt, bietet, beim Kaninchen wenigstens, die Ausschaltung des Großhirns ein gutes Mittel zum Aufheben der schmerzhaften Empfindungen dar.

Bei der Ausführung dieser Operation narkotisiert man das Kaninchen mit Äther, bindet die beiden A. carotis comm. in der soeben beschriebenen Weise (S. 17) am Halse ab und bringt das Tier dann von der Rückenlage in die Bauchlage. Sein Kopf wird nun in den Kopfhalter von Czermak befestigt; wenn dieser nicht vorhanden ist, genügt es, wenn ein Gehilfe den Kopf mit den Händen hält.

Mit einem Messer wird die Haut des Schädels von der Augengegend bis zu dem Nackenwulst in der Mittellinie durchschnitten. Mittels eines stumpfen Instruments schiebt man die Aponeurose und die Muskeln des Schädeldaches von der Mittellinie anfangend nach der Seite, bis die Schädelknochen ganz frei liegen. Darauf bohrt man mit einem Trepan (Fig. 24) von etwa 5 mm Durchmesser an den flachen, hinteren Teil des Schädeldaches an beiden Seiten in genügender Entfernung von der Sutura sagittalis je ein Loch; dabei muß man jede Beschädigung des Gehirns sorgfältig vermeiden. Mittels einer kleinen Zange zerbricht man dann, von den erwähnten Löchern ausgehend, das Schädeldach. Um die Dura und die großen Blutleiter vor Verletzung zu schützen, schiebt man bei der Arbeit mit der Zange eine dünne schmale Platte zwischen Gehirn und



Figur 24. Trepan.

Schädel. Das ganze Schädeldach wird in dieser Weise zerbrochen, bis das Großhirn in seiner ganzen Ausdehnung von oben her freiliegt. Die Dura wird jetzt beiderseits gespalten, indem man sie mit einer feinen Hakenpinzette oder einem scharfen Haken erhebt, am erhobenen Zipfel mit einer feinen Schere ein Loch schneidet und von diesem Loch aus die Membran parallel dem Sinus longitudinalis durchschneidet. Nach Bindung des distalen Endes des Sinus longitudinalis wird dieser durchschnitten.

Jetzt folgt die Exstirpation des Großhirns: ein stumpfes Instrument, z. B. ein dünner, 0.5—0.8 cm breiter Skalpellgriff wird hinter dem Occipitalpol des Großhirns hineingeführt und mit leichtem Druck unter schneidenden Bewegungen durch den Hirnstamm hindurch nach der Schädelbasis hingeschoben. Die Schnittrichtung muß von oben hinten nach unten vorn gehen, so daß die Vierhügel am Hirnstamm zurückbleiben. Mit dem gleichen Instrument hebelt man das abgetrennte Großhirn heraus und füllt die leere Schädelhöhle mit entfetteter Watte. Nach beendigter Operation ist es zweckmäßig, den Kopf des Tieres so zu lagern, daß das ausgegossene Blut nicht von der Schädelhöhle nach dem Kopfmark fließen kann.

Es ist bei dieser Operation nützlich, die künstliche Atmung in der oben (S. 14) beschriebenen Weise zu unterhalten, um durch den dabei in den Pleurahöhlen entstehenden positiven Druck dem Eintritt von Luft in die Venen des Schädeldaches bei etwa auftretenden starken Inspirations-

bewegungen vorzubeugen. Auch wenn trotz aller Vorsicht Blut nach dem Kopfmark fließen sollte und dadurch oder infolge irgendeines anderen Umstandes Atemstörungen auftreten würden, ist die künstliche Atmung von großer Bedeutung, denn dann kann das Tier, obgleich es nicht selbständig atmet, dennoch am Leben behalten und also zu vielerlei Versuchen benutzt werden.

F. Die Exstirpation des ganzen Gehirns.

Zum gleichen Zweck, d. h. um ein Präparat herzustellen, das lebend, aber völlig bewußtlos ist, hat Sherrington folgende Operationsmethode zunächst an der Katze empfohlen; sie eignet sich aber auch für das Kaninchen sehr gut.

Das Tier wird tief narkotisiert und zwecks künstlicher Atmung eine Kanüle in die Trachea eingeführt; die beiden A. carotis werden gebunden. Durch die Haut wird ein Querschnitt über das Hinterhaupt gelegt und lateral bis dicht hinter die Ohrmuscheln geführt. Die Haut wird nach hinten gezogen, so daß die Nackenmuskeln in der Höhe der zwei obersten Halswirbel frei liegen. Unmittelbar hinter den Querfortsätzen des Atlas wird die Muskulatur tief eingeschnitten. Der Processus spinosus des zweiten Halswirbels wird mit einer Knochenzange abgetrennt. Ein dicker Faden wird mittels einer spitzen gekrümmten Nadel dicht unter dem Körper des zweiten Wirbels angelegt und in der Furche zugezogen, welche dem muskularen Einschnitt hinter den Querfortsätzen des Atlas entspricht. Diese Ligatur komprimiert die Vertebralarterien während ihres Verlaufes von dem Querfortsatz des zweiten Wirbels zu dem des ersten. Eine zweite starke Ligatur wird dann in der Höhe des Ringknorpels um den Hals angelegt, so daß sie den ganzen Hals mit Ausnahme der Trachea einschließt. Endlich wird der ganze Kopf abgeschnitten, indem man das Messer von der ventralen Oberfläche des Halses oberhalb des ersten Halswirbels führt und das Rückenmark gerade hinter dessen Verbindung mit dem Kopfmark durchschneidet. Im abgeschnittenen Kopf wird das Gehirn mittels eines durch das Hinterhauptloch geführten metallenen Stabes vollständig zerstört. Um das obere Ende des Rumpfes wird die Haut zusammengenäht, und das Präparat ist fertig.

Diese beiden Präparate können zur Demonstration zahlreicher Vorgänge bei der Zirkulation, Atmung und Verdauung, sowie zur Demonstration der Wirkungen des Rückenmarkes und des Hirnstammes auf die Verrichtungen des Körpers benutzt werden.

IV. Antiseptik und Aseptik.

Gleich wie bei Operationen am Menschen müssen bei Versuchen, wo das Tier nach einer Operation am Leben erhalten werden soll, die Regeln der Antiseptik und Aseptik aufs peinlichste berücksichtigt werden.

Obgleich solche Operationen auch in einem Zimmer, welches außerdem noch anderen Zwecken dient, mit Erfolg ausgeführt werden können, ist es indessen in höchstem Grade wünschenswert, daß ein besonderes Operationszimmer zu diesem speziellen Zwecke vorhanden ist, damit man es nicht erlebt, daß ein Tier nach einer sonst gelungenen Operation an Sepsis stirbt.



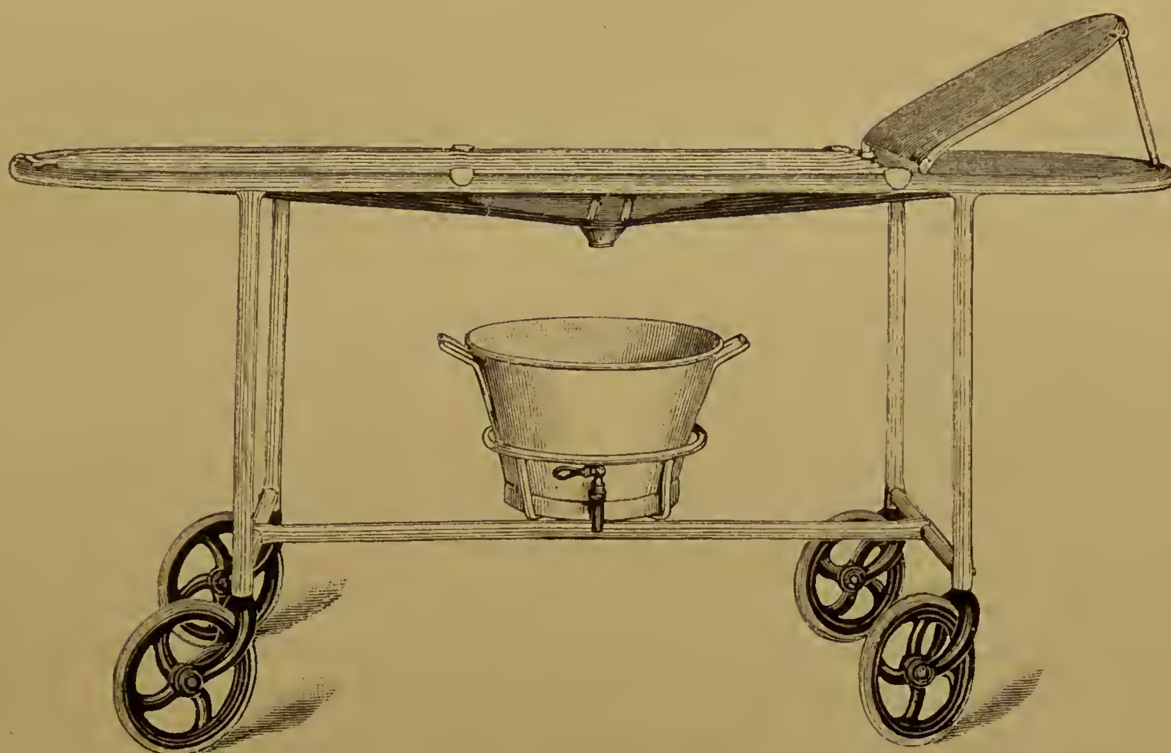
a *b* *c* *d*

Figur 25 A. Operationszimmer.

Die Wände und die Decke des Zimmers sollen mit Ölfarbe gestrichen sein, der Fußboden wird mit Asphalt gelegt und soll eine Abflußöffnung haben, so daß man ihn ausgiebig spülen kann. Alle Ecken und Winkel des Zimmers sollen zwecks leichterer Reinigung abgerundet sein. — Es ist zweckmäßig, Wände und Decke des Zimmers von Zeit zu Zeit mit 0.1 prozentiger Sublimatlösung zu bespritzen und dann mit Wasser abzuspülen.

Zur Ausrüstung des Operationszimmers gehören folgende Apparate und Instrumente (vgl. Fig. 25 A, welche das Operationszimmer im physiologischen Institut zu Helsingfors darstellt): ein Operationstisch (Fig. 25 B), auf welchen das tief narkotisierte Tier gebunden wird; dieser besteht ganz aus lackiertem Eisen; unter ihm steht ein Eimer, um herabfließendes Wasser

aufzufangen; ein Schrank für die in Betracht kommenden Instrumente, Messer, Scheren, Pinzetten, Nadeln, Trepanen, Seide, Katgut usw.; diese Instrumente dürfen nicht zu anderen Zwecken benutzt werden und werden daher sogleich nach der Operation gereinigt und im Schrank eingeschlossen; ein Tisch mit Glasscheibe, wo die bei der Operation zu benutzenden Schalen mit Instrumenten, Tupfern, Verbandmaterial usw. aufgestellt werden (*d*); ein Gestell (*c*) mit Flaschen, enthaltend die in Betracht kommenden antiseptischen oder sterilen Lösungen (0.1 und 0.2 prozentige Sublimatlösung; 0.9 prozentige Kochsalzlösung); zwei Operationsstühle; ein Autoklav zur Sterilisierung des Verbandmaterials und der Operationskleider (*a*); ein Apparat zur Sterilisierung der Instrumente durch Kochen (*b*); Waschbecken, welche mit dem Fuß, dem Knie oder dem Ellbogen geöffnet und



Figur 25 B. Operationstisch.

geschlossen werden können, so daß die Hähne mit den Händen gar nicht berührt werden; dazu gehört noch ein Warmwasserapparat nach Junker sowie ein Gasofen, um, wenn nötig, die Temperatur des Zimmers beliebig hoch zu treiben.

Alle diese Möbel sind aus lackiertem Metall und Glas; Holz kommt gar nicht vor.

Die Sterilisierung der bei der Operation zu benutzenden Tupfer und Gazebinden findet während mindestens 30 bis 40 Minuten mittels Wasserdampfes von 125° C. statt, und zwar sind diese Gegenstände dabei in durchlöcherten Blechzylindern von geeigneter Größe eingeschlossen; sie können nach stattgefundener Sterilisierung in diesen Zylindern nach Verschluß der Löcher lange Zeit nachher liegen bleiben, ohne infiziert zu werden.

Die Instrumente, Messer, Scheren, Pinzetten usw., werden durch 20 Minuten langes Kochen in einer 1 prozentigen Sodalösung sterilisiert; die Sterilisierung der Seide geschieht, je nach deren Dicke, durch ein- bis zweistündiges Kochen in einer Sublimatlösung 1 : 500.

Bei der Operation bleiben die Instrumente in dem Korb aus Metalldraht, worin sie sterilisiert wurden, liegen.

Operateur und Assistenten sollen sich die Hände gut reinigen und desinfizieren; zu diesem Zwecke werden sie unter Anwendung von warmem Wasser und Seife während wenigstens 15 Minuten mit einer harten, sterilisierten Bürste gebürstet, wobei besondere Sorgfalt den Nagelfalzen zu eignen ist. Vorher sind die Nägel möglichst kurz abzuschneiden. Dann wäscht man die Hände wenigstens 5 Minuten lang mittels einer Bürste mit einer 0.1 prozentigen Sublimatlösung und taucht sie endlich in sterilisiertes Wasser (nicht abtrocknen!) Auch kann man sterile Operationshandschuhe aus Gummi, wie sie seit einiger Zeit bei den Chirurgen gebräuchlich sind, benutzen.

Schließlich zieht man den sterilisierten Operationsrock an und bedeckt eventuell den Kopf mit einer sterilisierten Mütze.

Am Tage vor der Operation bekommt das Tier[1]), insbesondere wenn eine Operation am Verdauungsrohre stattfinden soll, eine Dosis Kalomel (im gefütterten Fleisch gemischt) von etwa 0.5 g und soll nun bis zur Operation hungern.

Zur Narkose eignet sich die oben erwähnte Mischung von Morphin und Atropin (vgl. S. 4) sehr vorzüglich. Je nach Bedarf wird die Narkose durch Einatmen von Chloroform verstärkt.

Nachdem das Tier fest schläft, wird es am Operationsfelde in genügend großer Ausdehnung rasiert und dann auf den Operationstisch gebracht. Um das Operationsfeld zu sterilisieren, trocknet man dasselbe mit Alkohol und Äther ab und bepinselt es mit Jodtinktur, bis die Farbe dunkel mahagonibraun geworden ist.

Diese sehr bequeme und zuverlässige Sterilisierung läßt sich indessen nicht da anwenden, wo eine Schleimhaut an der Haut festgeheilt werden soll. Da ist die Jodtinktur zu vermeiden, und die Sterilisierung geschieht hier durch gründliches Waschen mit Seife, Trocknen mit Alkohol und Äther, Abreibung mit 0.1 prozentiger Sublimatlösung.

Von der Umgebung wird das Operationsfeld durch sterile, untereinander mittels Sicherheitsnadeln oder, besser, Lakenpinzetten verbundene Tücher, die das Tier und den Operationstisch bedecken, isoliert.

Nach beendigter Operation und nachdem man sich sorgfältig davon überzeugt hat, daß jede vorhandene Blutung völlig stillsteht, wird die Wunde mittels Suturen in mehreren Etagen zusammengenäht, und

---

[1]) Das Folgende bezieht sich speziell auf den Hund, der wohl in den meisten Fällen zu aseptischen Operationen benutzt wird.

zwar, bei Bauchoperationen, zuerst das Peritoneum, dann die Muskeln und Faszien und schließlich die Haut.

Am Menschen wird wie bekannt die zusammengenähte Wunde mit einem Verband von Binden usw. zugedeckt. Bei operierten Tieren läßt sich ein regelrechter Verband kaum anbringen, weil er in der Regel vom Tiere abgerissen wird. Daher ist es wohl immer das beste, von vornherein auf einen solchen Verband zu verzichten und sich darauf zu beschränken, über die zusammengenähte und mit Alkohol und Äther getrocknete Wunde einen Streifen von dünner, entfetteter und steriler Watte zu legen und diese mit einer nicht zu dicken Schicht von Kollodium zu bepinseln. Eine zu dicke Kollodiumschicht ist zu vermeiden, weil sie weniger elastisch ist und leicht Risse bekommt. Wenn der Kollodiumverband dennoch während der ersten Tage Risse bekommen sollte, streicht man wieder etwas Kollodium auf die Wunde.

Nässende Fisteln, deren Sekret nicht durch Kanüle nach außen abgeleitet werden kann (zum Beispiel Speichel- und Oesophagusfisteln), sollen offen gelassen werden; sie werden dreimal täglich mit sterilen Tupfern gut abgetrocknet und dann reichlich mit Xeroformpulver gepudert.

Da die Tiere nach der Operation mehr oder weniger erschöpft sind und die Morphin-Atropinnarkose in der Regel noch ziemlich lange nach Schluß der Operation dauert, ist die Wärmebildung beim operierten Tier im allgemeinen verhältnismäßig gering, und das Tier kühlt sich daher leicht ab. Um dies zu vermeiden, soll das operierte Tier an einen warmen Ort gelagert und mit wollenen Decken bedeckt werden.

Im Institut von Pawlow findet sich eine besondere Abteilung für die Pflege der operierten Tiere. Sie besteht aus einer Anzahl kleiner Zimmer, die einem gemeinsamen Korridor gegenüber liegen und mit dicken, festschließenden Türen versehen sind. Jedes Zimmer hat ein großes Fenster, gute Ventilation und gute Erwärmung. Käfige befinden sich in diesen Zimmern nicht.

Die Zimmer sind mit Ölfarbe gestrichen und haben wasserdichte Dielen mit Abflüssen. Auf der einen Seite des Zimmers befindet sich eine mit Segeltuch bedeckte Erhöhung zur Schlafstelle für das Tier.

Durch Wasserspülung wird das Zimmer jedesmal, wenn es vom Tiere verunreinigt worden ist, gewaschen.

Da Tiere, welche am Gehirn operiert worden sind, öfters mit dem Kopf stark an den Fußboden und die Wände des Zimmers anstoßen und dadurch ihren Zustand wesentlich verschlechtern können, bringt Pawlow, um diesen Übelstand zu vermeiden, bei solchen Tieren in das Zimmer Rahmen, welche mit Sacktuch überkleidet sind.

Wenn man nicht in der Lage ist, eine solche Abteilung für operierte Tiere einzurichten, so kann man mit Käfigen fast ebensogut auskommen. Nur müssen diese sehr sorgfältig gereinigt und von Zeit zu Zeit wieder

mit Ölfarbe gestrichen werden, sowie übrigens die Tiere in jeder Hinsicht so gut wie möglich gepflegt werden.

Keinesfalls dürfen aber die Käfige für operierte Tiere, solange die Wunde noch nicht geheilt ist, im gewöhnlichen Hundestall plaziert werden.

Nachdem die Wunde so weit geheilt ist, daß das Tier ohne Gefahr umhergehen kann, ist es sehr nützlich, wenn es sich auch im Freien aufhalten darf.

ZWEITES KAPITEL.

Einige elektrische Apparate.

I. Galvanische Elemente.

Bei physiologischen Versuchen werden als Stromquelle neben dem Maschinenstrom nunmehr wesentlich nur die Elemente von Daniell, von Meidinger und Leclanché, die Trockenelemente von Hellesen und von Siemens & Halske sowie die Akkumulatoren benutzt.

Das Element von Daniell (Fig. 26) besteht aus Kupfer und amalgamiertem[1]) Zink, verdünnter Schwefelsäure (1 : 16) und einer konzentrierten Lösung von Kupfersulfat. Das Kupfer steht in der Kupfersulfatlösung, das Zink in der Schwefelsäure. Beide Flüssigkeiten werden durch einen das Zink und die Schwefelsäure enthaltenden Tonzylinder voneinander getrennt. Der Strom geht im Element vom Zink durch die Flüssigkeiten zum Kupfer und tritt bei diesem vom Element aus. Das Kupfer wird aus der Sulfatlösung in metallischem Zustande auf das Kupferblech ausgefällt, und gleichzeitig geht das Zink als Zinksulfat in die Lösung. Solange die Kupfersulfatlösung noch konzentriert ist, was durch das Vorhandensein einiger Kristalle des Salzes garantiert wird, und das Zink noch nicht zerstört ist, ist die Konstanz des Elementes ziemlich groß. Elektromotorische Kraft etwa 1.1 Volt; innerer Widerstand etwa 0.8 Ohm.

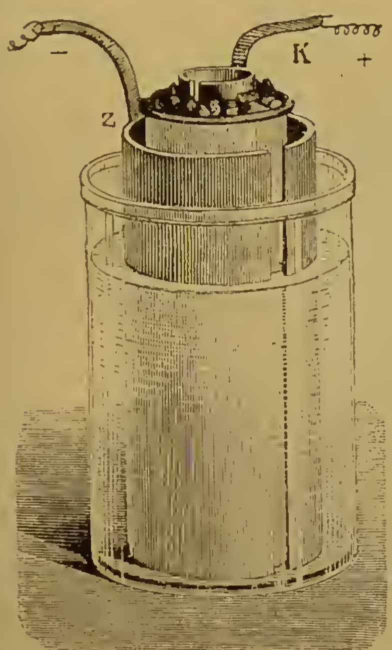
Nach der Benutzung muß das Element auseinandergenommen und sorgfältig gereinigt werden. Der Tonzylinder wird in einem Gefäß mit Wasser aufbewahrt, so daß er nicht trocknet.

---

[1]) Am bequemsten läßt sich die Amalgamierung von Zink mit der Flüssigkeit von Berjot ausführen: 200 Teile Quecksilber werden in 1000 Teile Königswasser (1 Teil Salpetersäure und 3 Teile Salzsäure) gelöst; hierzu werden noch 1000 Teile Salzsäure getan. — Auch kann man das Metall mit Salzsäure anfeuchten und mittels einer Bürste Quecksilber auf dieses reiben.

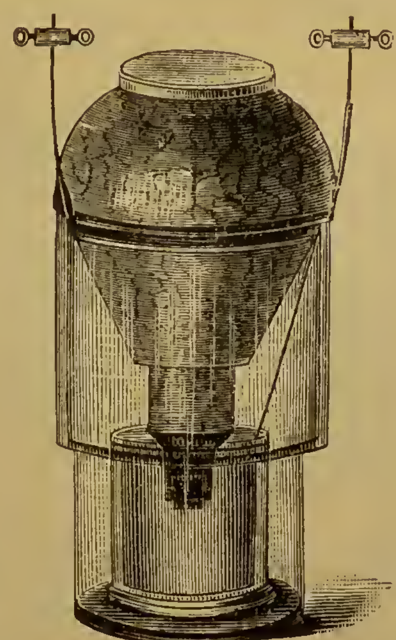
Das Element von Meidinger (Fig. 27) besteht aus amalgamiertem Zink, Kupfer, einer konzentrierten Kupfersulfatlösung und einer 10—14 prozentigen Lösung von Magnesiumsulfat. Der trichterförmig verlängerte Glasballon wird mit Kupersulfat in Kristallen und dann mit Wasser gefüllt; seine Mündung ist durch einen durchbohrten Pfropfen geschlossen; durch das Loch fließt die konzentrierte Kupfersulfatlösung sehr langsam in das Glasgefäß hinein, wo sich das Kupferblech befindet. Das äußere Gefäß enthält das Zink und die Magnesiumsulfatlösung. Der Strom geht im Element vom Zink durch die Flüssigkeiten zum Kupfer.

Dieses Element braucht nicht nach jeder Anwendung entleert zu werden, sondern kann monatelang stehen bleiben, wenn es nur nicht öfter geschlossen wird, als es gerade gebraucht wird. Nachdem es einige Zeit geschlossen



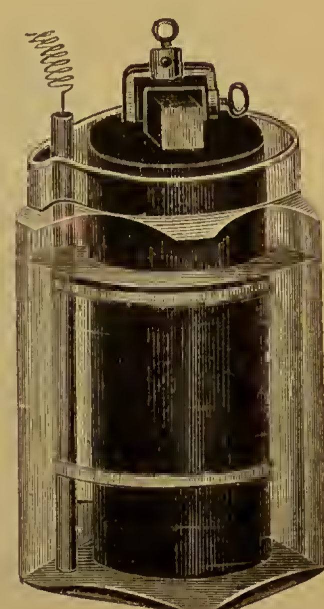
Figur 26.

Figur 26. Daniells Element.



Figur 27.

Figur 27. Meidingers Element.



Figur 28.

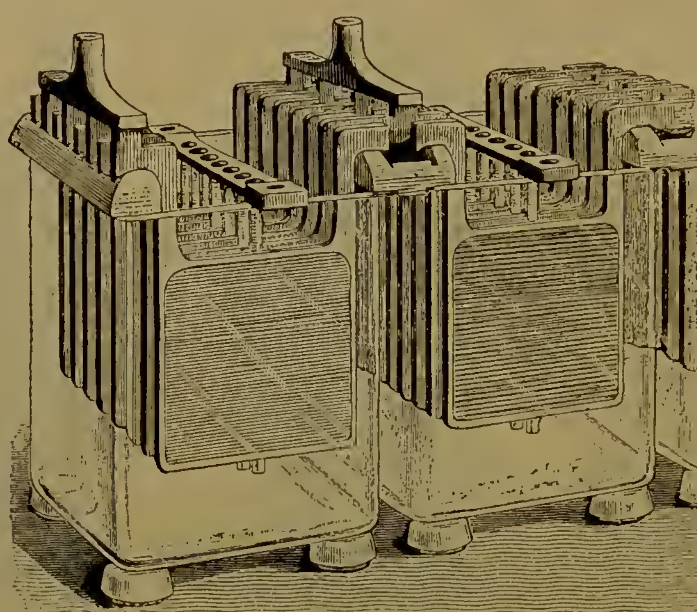
Figur 28. Leclanchés Element.

gewesen ist, ist seine elektromotorische Kraft sehr konstant und beträgt etwa 1.05 Volt; es darf indessen nicht von seinem Platz gerührt oder sonst erschüttert werden. Innerer Widerstand 6.2 Ohm.

Im Element von Leclanché (Fig. 28) taucht ein Zinkstab in eine konzentrierte Lösung von Salmiak; mittels eines Gummibandes ist mit diesem ein Stab aus Braunstein und ein Kohlenstab verbunden. Der Strom geht im Element vom Zink durch die Flüssigkeit zur Kohle. Die elektromotorische Kraft des Elements beträgt etwa 1.4 Volt, nimmt aber bei der Benutzung durch Ablagerung von Wasserstoff an der Kohle allmählich ab; bei der Ruhe entweicht der Wasserstoff, und das Element erholt sich wieder. Die nach einiger Zeit sich bildenden Chlorzinkammoniumkristalle lassen sich durch Zusatz einer geringen Menge Salzsäure entfernen. Hat die elektromotorische Kraft des Elementes stark abgenommen, so kann sie durch Zusatz einer frischen Salmiaklösung wieder gehoben werden.

Die Trockenelemente bestehen wie das Element von LECLANCHÉ aus Zink, Braunstein und Kohle; zwischen diesen ist eine poröse, mit konzentrierter Salmiaklösung durchtränkte Masse (Kieselguhr, Sägespäne) eingestopft.

Insbesondere da, wo man über eine Gleichstromleitung verfügt, kommen unter den Stromquellen die Akkumulatoren in erster Linie in Betracht. Ein Akkumulator besteht aus einem mit verdünnter Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1.115 gefüllten Glastrog, in welchen gerippte Bleiplatten tauchen. Diese werden, nachdem die Vertiefungen mit Mennige, Bleiglätte und dergleichen gefüllt sind, in die Säure hineingetaucht, und zwar so, daß sich je eine positive Platte zwischen zwei negativen Platten befindet (Fig. 29). Durch die Ladung wird eine Polarisation im Elemente hergestellt, und dieser Polarisationsstrom stellt dann dessen elektromotorische Kraft dar.



Figur 29. Akkumulator.

Im geladenen Akkumulator stehen sich die mit Bleisuperoxyd überzogene schokoladenfarbene positive Bleiplatte und die aus reduziertem schwammigem, metallischem, graugefärbtem Blei bestehende negative Platte gegenüber. Bei der Entladung geht das Bleisuperoxyd an der positiven Platte in zweiwertige Blei-Ionen über, und diese treten mit den SO_4-Ionen zu festem Bleisulfat zusammen. An der negativen Platte entsteht aus dem metallischen Blei gleichfalls Bleisulfat.

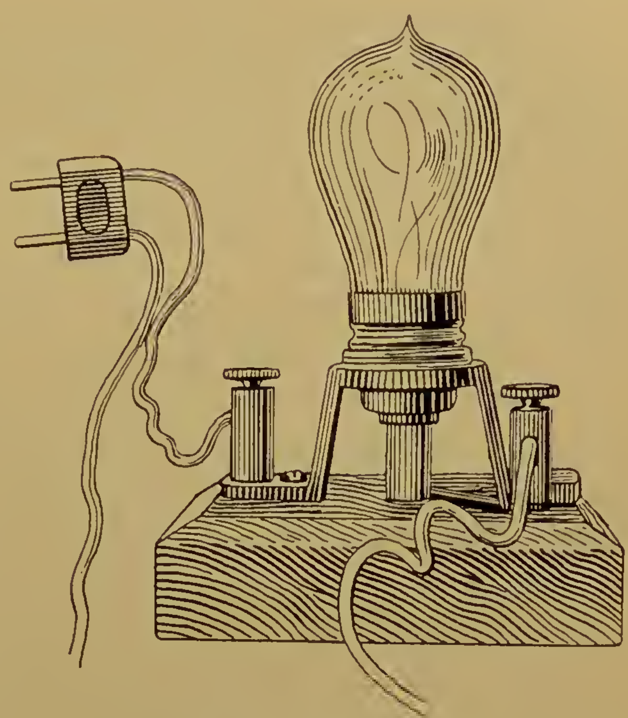
Bei der Ladung des Akkumulators wird nun umgekehrt an der negativen Platte das Bleisulfat zu metallischem Blei reduziert, während an der positiven Platte die zweiwertigen Blei-Ionen in vierwertige Blei-Ionen übergehen, die mit den vorhandenen Hydroxyl-Ionen zu einem Hydrat von Bleisuperoxyd zusammentreten.

Zur Ladung des Akkumulators verbindet man dessen positiven Pol mit dem positiven Pol des Starkstromes; dabei muß die Stärke des letzteren durch Einschaltung von Glühlampen in geeignetem Grade vermindert werden

(vgl. unten), weil ein zu starker Strom den Akkumulator gar leicht zerstört. In der Regel wird die zulässige Ladungsstärke von den Fabriken angegeben.

Kurz nach dem Beginn der Ladung zeigt ein zwischen den Polen des Akkumulators eingeschalteter Voltmeter eine Potentialdifferenz von 2.09 Volt; während des Ladungsvorganges bleibt diese Spannung lange Zeit bestehen, um dann langsam auf 2.34 Volt anzusteigen. Jetzt tritt eine Gasentwicklung auf, und die Ladung ist abgeschlossen.

Findet dann die Entladung unter Einschaltung von Widerständen statt, so zeigt der Akkumulator während einer längeren Zeit eine elektromotorische Kraft von 1.95 Volt. Ist die Spannung auf 1.75 Volt herabgesunken, so soll der Akkumulator aufs neue geladen werden. Auch ist dafür zu sorgen, daß die ganze Oberfläche der Platten mit Säure bedeckt ist. Wenn infolge der Verdunstung etwas Säure nachgefüllt werden muß, soll hierzu 5 prozentige, reine Schwefelsäure benutzt werden.



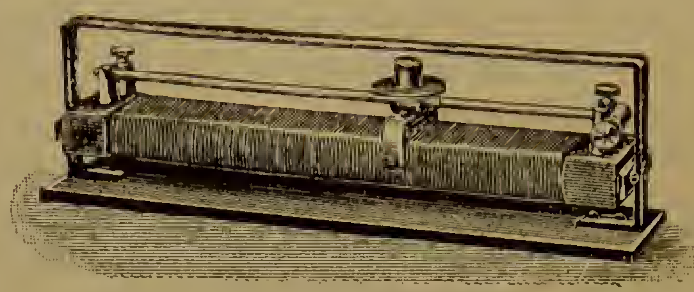
Figur 30. Lampenwiderstand.

Wegen der namentlich an der positiven Platte schädlichen Sulfatbildung in den Zellen, die längere Zeit ungebraucht waren, sollen die Akkumulatoren von Zeit zu Zeit frisch geladen werden, selbst wenn sie nicht benutzt werden. Auch müssen, wenn vom Belag einzelne Teile abgefallen sind und zwischen die Platten zu liegen kommen, diese sogleich entfernt werden, da sie sonst durch Kurzschluß das Element unbrauchbar machen.

Ein Lampenwiderstand (Fig. 30) besteht aus einer oder mehreren Glühlampen, welche auf einem und demselben Brett in der Weise montiert sind, daß eine, oder zwei, oder drei Lampen hintereinander in die Leitung eingeschaltet werden können. Von dem Wandkontakt geht also der Strom zu dem Widerstand, davon zum Stromkreis, hier dem Akkumulator, von diesem wieder zum Wandkontakt zurück.

Je größer der Lampenwiderstand und je schwächer also die Lichtstärke der Lampe ist, um so mehr wird die Stärke des Stromes vermindert. Da nach Garten der Widerstand einer Kohlenfadenlampe von 16, 32 und 100 Kerzen bzw. 220, 147 und 42 Ohm ist, beträgt die Stromstärke bei einer Spannung des Starkstroms von 110 Volt im betreffenden Stromkreis bzw. 0.5, 0.75 und 2.4 Ampère, wenn der übrige Widerstand im Stromkreis vernachlässigt werden kann. Durch Einschaltung zweier Lampen von je 16 Kerzen sinkt die Stromstärke auf 0.25 Ampère herab, usw.

Durch Einschaltung eines Lampenwiderstandes von geeigneter Größe kann man übrigens den Starkstrom direkt als Stromquelle benutzen. Dabei kann die Stromstärke durch Einschaltung eines Rheostaten noch feiner reguliert werden, als dies durch den Lampenwiderstand allein möglich ist.

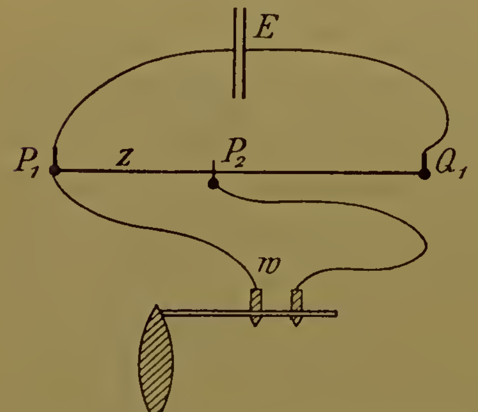


Figur 31. Rheostat.

Zu diesem Zwecke ist der folgende Rheostat (Fig. 31) sehr bequem. Dieser besteht aus einer oder zwei nackten Spiralen aus Konstantandraht, welche auf Schiefer gewickelt sind. Die Leitungsdrähte werden bei den an jedem Ende des Rheostaten befindlichen Polschrauben befestigt; je mehr der Schieber von der ersten Polschraube entfernt wird, um so mehr Windungen werden in die Leitung eingeschaltet, und um so mehr wird dabei die Stromstärke vermindert.

Wenn der Widerstand im Stromkreis sehr groß ist, so müssen natürlich auch die Veränderungen des Gesamtwiderstandes sehr groß sein, um genügende Variationen der Stromstärke herbeiführen zu können. In solchen Fällen müßte man also über sehr große Widerstände verfügen können, was aber seinerseits wiederum gewisse Schwierigkeiten bereitet.

Man kann indessen durch Benutzung des Rheostaten als Nebenschließung die Stromstärke sehr fein abstufen, ohne große Widerstände anwenden zu müssen. Das Prinzip dieses Vorganges läßt sich an der Hand der Figur 32 darstellen. E ist die Stromquelle — ein galvanisches Element, bzw. ein Starkstrom mit Glühlampenwiderstand — deren Pole mit je einem der Enden einer 1—1.5 m langen Saite, Rheochord, aus Metalldraht P_1 Q_1 verbunden sind. Bei P_1 wird der Strom zu dem betreffenden Stromkreis w mit großem Widerstand abgezweigt und tritt bei P_2 wieder in die Stromleitung ein. Wenn der Widerstand in der Nebenleitung P_1 P_2 ($= z$) im Verhältnis zu dem Widerstand in der Stamleitung und dem abgezweigten Stromkreis sehr klein ist, so ist die Stromstärke im letzteren proportional der Länge der Nebenleitung P_1 P_2; sie wird also um so größer, je weiter die Entfernung zwischen P_1 und P_2 ist.



Figur 32. Schema der Nebenschließung.

Auch wenn man durch den Starkstrom einen Induktionsapparat treiben will, muß man zwischen den Polen des Unterbrechers einen als Nebenschließung dienenden gut leitenden Widerstand einschalten.

II. Induktionsapparate.

Wenn ein konstanter Strom plötzlich geschlossen oder geöffnet wird, oder seine Stärke plötzlich in positiver oder negativer Richtung verändert wird, oder einem nahe gelegenen geschlossenen Leiter schnell genähert oder von ihm schnell entfernt wird, so entsteht in diesem Leiter ein induzierter Strom. Wenn der konstante, „primäre" Strom geschlossen oder verstärkt oder dem Leiter genähert wird, geht der induzierte Strom in entgegengesetzter Richtung gegen den primären Strom; wenn der primäre Strom geöffnet, geschwächt oder vom Leiter entfernt wird, geht der induzierte Strom in derselben Richtung wie der primäre. Im ersten Falle heißt der induzierte Strom Schließungsinduktionsstrom, im zweiten Öffnungsinduktionsstrom.

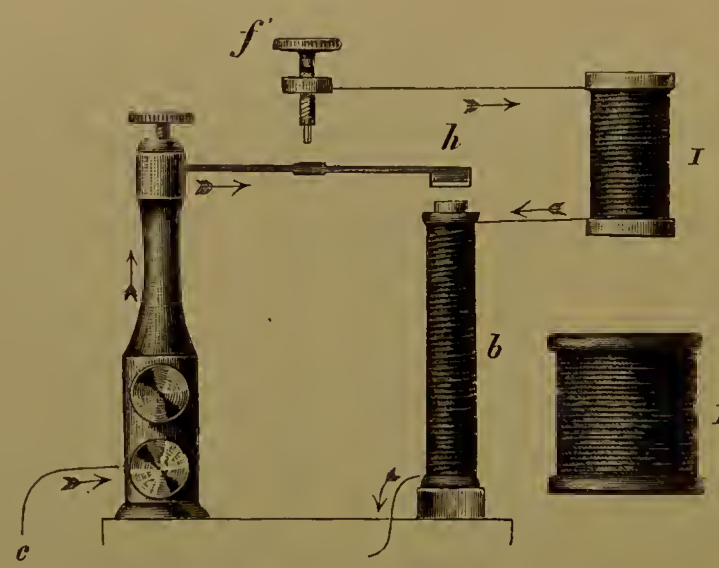
Die Stärke des Induktionsstromes ist von der Stärke des primären Stromes, von der Entfernung zwischen den beiden Leitern sowie von der Plötzlichkeit abhängig, mit welcher die Stärke des primären Stromes verändert wird. Wo dieser durch einen in mehreren Windungen über und nebeneinander gewickelten Draht geleitet wird, entsteht beim Stromschluß wegen der induzierenden Wirkung der Drahtwindungen aufeinander ein in entgegengesetzter Richtung gegen die des primären Stromes verlaufender Strom, der Extrastrom. Desgleichen tritt, wenn der primäre Strom durch Schluß einer Nebenschließung geöffnet wird, ein Extrastrom auf, welcher gleichgerichtet wie der primäre Strom ist.

Der Extrastrom macht die Veränderungen in der Stärke des primären Stromes langsamer und setzt also die Stärke des induzierten Stromes herab. Wenn der primäre Strom vollständig, d. h. ohne Nebenschließung, geschlossen und geöffnet wird, so wird beim Öffnen die Bahn des Extrastromes abgeschnitten, und der primäre Strom sinkt dann augenblicklich auf Null herab; infolgedessen wird der Öffnungsinduktionsstrom stärker als der Schließungsinduktionsstrom.

Der bei physiologischen Versuchen am meisten benutzte Induktionsapparat ist von du Bois-Reymond konstruiert und hat folgenden Bau (Fig. 33). Zwei mit isoliertem Kupferdraht gewickelte Rollen sind auf einem Schlitten solcherart befestigt, daß die zweite Rolle längs dem Schlitten gegen die primäre Rolle verschoben werden kann. In der Rolle I kreist der primäre Strom, in der Rolle II wird der Induktionsstrom ausgelöst. Die primäre Rolle besteht aus wenigen Windungen eines 1 mm dicken Kupferdrahts, die sekundäre enthält dagegen mehrere tausend Windungen eines sehr feinen Kupferdrahts, welche an den zwei Klemmschrauben enden.

Der primäre Strom tritt von der Batterie in die Klemmschraube *c*, geht von da durch die Feder *h* zur Schraube *f* und von dieser zum Draht der primären Rolle, von woher er durch den Elektromagneten *b* zum anderen Pol der Batterie geht.

Wenn der Strom durch die Feder *h*, die Schraube *f* und den Elektromagneten *b* geht, wird letzterer magnetisch und zieht einen an der Feder befestigten Anker herab. Hierdurch wird der Strom bei *f* unterbrochen, und ein Öffnungsinduktionsstrom entsteht in der sekundären Rolle. Im selben Augenblick verschwindet aber der Magnetismus in *b*, und die Feder schlägt gegen *f* zurück, stellt den Kontakt wieder her, ruft einen Schließungsinduktionsschlag hervor und macht *b* aufs neue magnetisch. Der Anker *h* wird dabei vom Magneten angezogen, und so geht es unaufhörlich fort. Man erhält also eine Reihe von schnell nacheinander folgenden Öffnungs-



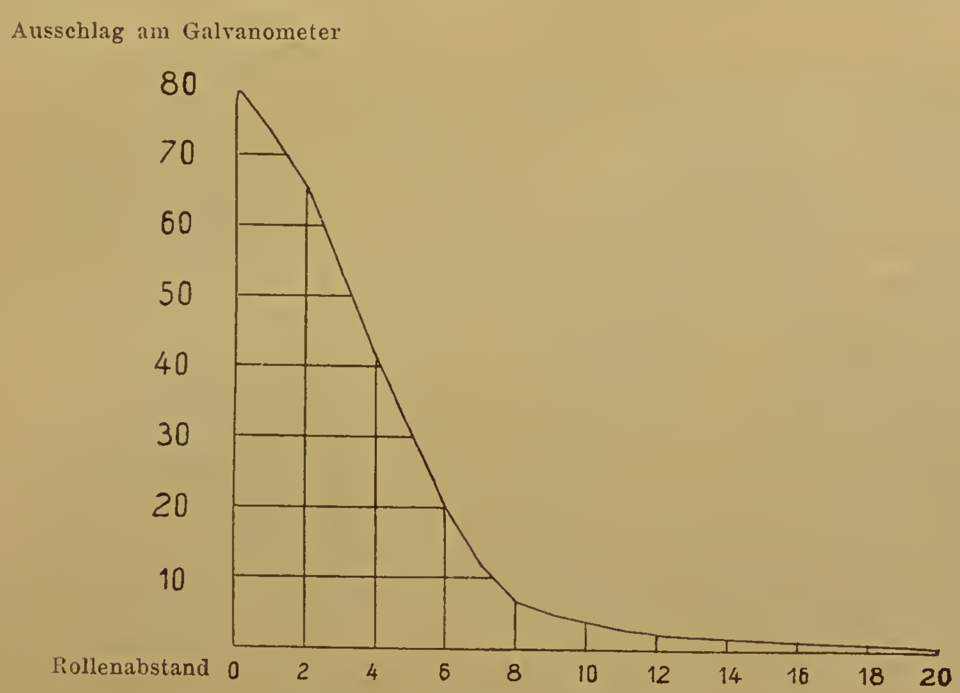
Figur 33. Induktionsapparat, nach du Bois-Reymond.

und Schließungsinduktionsschlägen. Durch Verstellen der Schraube *f* höher oder tiefer sowie durch Verlängerung der Feder nach vorn durch einen mit einem Laufgewicht versehenen Stift kann man innerhalb ziemlich weiter Grenzen die Zahl der Federschwingungen und also auch die der induzierten Ströme variieren.

Die Stärke der Induktionsströme ist bei gleicher Stärke des primären Stromes von der Entfernung der Rollen abhängig, verändert sich indessen nicht proportional dieser Entfernung.

Die an den gewöhnlichen Induktionsapparaten befindliche Skala gibt nur die Größe der Entfernung in Millimetern an und sagt daher nichts über die wirkliche gegenseitige Stärke der Ströme. Der Induktionsapparat muß daher geeicht werden, und dies findet dadurch statt, daß man die sekundäre Rolle mit einem Galvanometer verbindet und für jedes Zentimeter der Skala die Größe des Ausschlages bestimmt. Hierbei schraubt man die Schraube so tief nach unten, daß die Feder nicht mehr schwingen kann, schaltet in die primäre Strombahn einen Unterbrecher ein, löst durch Schließung und

Öffnung des primären Stromes Induktionsschläge aus und liest den entsprechenden Ausschlag am Galvanometer ab. Anfangs stellt man die sekundäre Rolle in eine Entfernung von etwa 10 cm von der primären und nähert sie zentimeterweise der primären Rolle, bis die Rollen vollständig übereinander geschoben sind. Dann führt man von dem Abstand 10 cm an die sekundäre Rolle wieder zentimeterweise nach außen. Hierbei zeigt sich bald die frühere Empfindlichkeit des Galvanometers zu gering, und man muß daher dessen Empfindlichkeit steigern. Um die bei verschiedener Empfindlichkeit des Galvanometers gewonnenen Resultate auf ein und dasselbe Maß bringen zu können, macht man bei jeder Veränderung der Empfindlichkeit einige Bestimmungen auch bei geringerer Entfernung zwischen den Rollen. Wenn z. B. bei einem gewissen Emp-



Figur 34. Eichung eines Induktionsapparates.

findlichkeitsgrad der Ausschlag bei der Entfernung von 10, 9, 8, 7, 6 cm bestimmt wurde, wird bei dem folgenden der Ausschlag bei einer Entfernung von 8, 9, 10, 11, 12 cm bestimmt, usw. Durch eine einfache Rechnung lassen sich die den verschiedenen Beobachtungsreihen gehörigen Zahlen auf die gleiche Empfindlichkeit reduzieren.

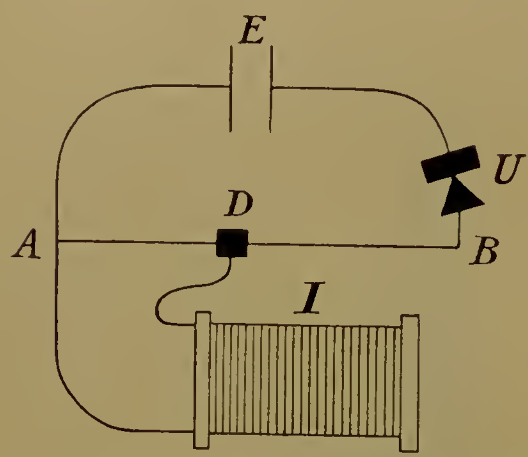
Wo man nicht durch Veränderungen am Galvanometer selbst dessen Empfindlichkeit nach Bedarf verändern kann, kann man die Stärke des primären Stromes durch eine Nebenschließung in der gewünschten Richtung verändern.

Aus diesen Zahlen wird eine Kurve auf Millimeterpapier mit den Rollenabständen als Abszissen und den entsprechenden Galvanometerausschlägen als Ordinaten konstruiert. Durch graphische Interpolation wird daraus eine nach der gegenseitigen Stärke der Induktionsschläge graduierte Skala entworfen und am Apparat befestigt (vgl. Fig. 34).

Da die Induktionsschläge bei konstanter Entfernung zwischen den Rollen der Stärke des primären Stromes proportional sind, ist die so erhaltene Skala für einen und denselben Induktionsapparat für jede Stärke des primären Stromes gültig.

Diese Methode der Eichung leidet an dem Übelstand, daß die Stärke der Induktionsströme bei größerer Entfernung zwischen den Induktionsrollen sich nur sehr langsam verändert, weshalb kleine Differenzen hier nur mit Schwierigkeit exakt bestimmt werden können.

Bei vielen nervenphysiologischen Versuchen ist indessen eine genaue Graduierung des Induktionsapparates gerade bei diesen Entfernungen notwendig, weil der Nerv so empfindlich sein kann, daß bei 1 Volt in der primären Strombahn schon eine Veränderung des Rollenabstandes um wenige Millimeter genügt, um die Muskelzuckung bei Reizung vom Nerven aus von Null auf das Maximum ansteigen zu lassen.



Figur 35. Variation der Stärke des Induktionsstromes durch Variation der Stärke des primären Stromes. *E*, Stromquelle; *U*, Unterbrecher; *A*—*B*, Rheochord; *D*, der Rheochordläufer; *I*, die primäre Rolle des Induktoriums.

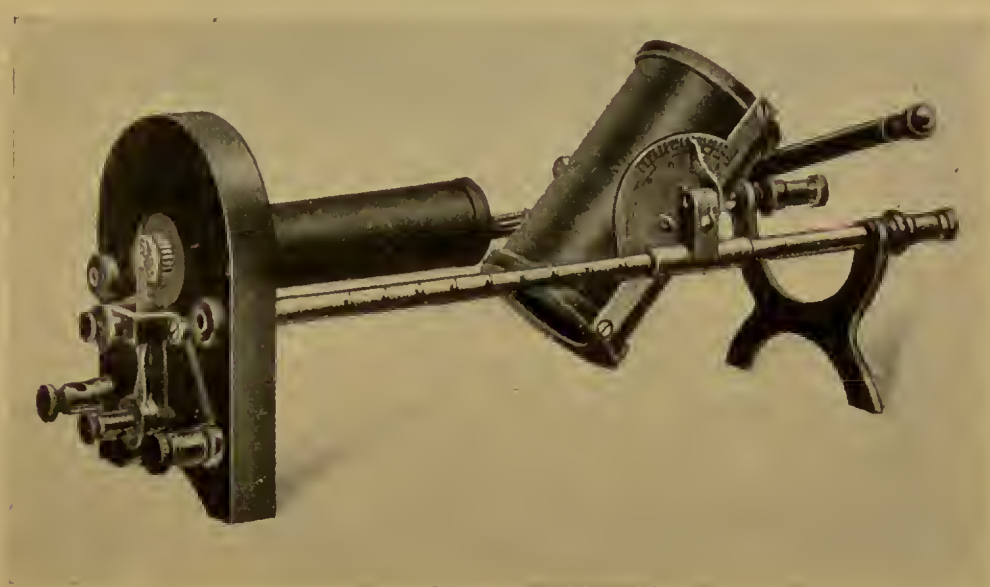
Es empfiehlt sich daher, die Stärke der Induktionsströme bei konstanter Entfernung der Rollen (übereinander geschobene Rollen) durch Veränderung der Stromstärke in der primären Rolle zu verändern. Dies geschieht unschwer mittels eines einsaitigen Rheochordes, das als Nebenschließung in die primäre Strombahn eingeschaltet ist. Durch Wahl eines geeigneten Drahtes kann man jeden gewünschten Grad von Empfindlichkeit bekommen. Wie schon oben bemerkt (S. 30) ist hierbei die Stärke des nach der primären Rolle abgezweigten Stromes proportional der Entfernung des Rheochordläufers vom Nullpunkt, vorausgesetzt, daß die Widerstände so verteilt sind, daß der Widerstand des Rheochorddrahtes gegen die übrigen Widerstände verschwindet. Da der Widerstand der primären Rolle bei den gewöhnlichen Induktionsapparaten nur etwa $^1/_2$ Ohm beträgt, muß man daher in der Zweigleitung einen ziemlich großen Widerstand einschalten.

Die Aufstellung der Apparate ist aus Figur 35 ersichtlich, die wohl keine weitere Beschreibung nötig hat.

Endlich gibt es Induktionsapparate, bei welchen die Stärke des induzierten Stromes durch Veränderung des Winkels zwischen den beiden Rollen verändert wird. Wenn die Windungen der primären und der sekundären Rolle parallel sind, hat der Induktionsschlag sein Maximum; bei senkrecht gegeneinander stehenden Rollen hört aber die Induktionswirkung ganz auf. Zwischen diesen Grenzen variiert die Stärke des Induktionsstromes proportional dem Cosinus des Winkels zwischen den Rollen. Ein von Blix konstruierter Induktionsapparat ist auf Grund dieser Eigenschaften des

Induktionsstromes gebaut. Ein anderes nach diesem Prinzip von Porter gebautes Induktorium ist in Figur 36 abgebildet.

Die Stärke des Induktionsstromes kann noch dadurch gesteigert werden, daß in der primären Rolle einige Eisenkerne, d. h. in der Richtung der Rollenachse liegende, zusammengebundene Eisendrähte von der Länge der Rolle eingeschoben werden. Die Verstärkung beruht darauf, daß das Eisen unter Einwirkung des in den Windungen der primären Rolle fließenden Stromes magnetisch wird. Da dieser Magnetismus als aus parallelen, das Eisen umkreisenden Strömen entstanden aufgefaßt werden kann, muß sein Entstehen und Aufhören in der sekundären Rolle Ströme induzieren und also die Wirkung der durch den Hauptstrom hervorgebrachten Induktion verstärken. Gleichzeitig wird auch der Extrastrom verstärkt, und bei der Anwendung von Eisenkernen wird daher der Unterschied der Stärke



Figur 36. Induktorium, nach Porter.

zwischen den Öffnungs- und Schließungsinduktionsströmen noch größer als ohne sie.

Um die Richtung eines Induktionsstromes zu bestimmen, verfährt man folgendermaßen. Man bezeichnet die Klemmschrauben der primären Rolle mit + und —, verbindet diese dementsprechend mit den Polen des Elementes und zweigt mittels eines als Nebenschließung eingeschalteten Rheochordes einen genügend schwachen Stromzweig zu einem Galvanometer ab. Der Galvanometerausschlag gibt dann die Richtung des primären Stromes an. Dann verbindet man die in derselben Weise bezeichneten Klemmschrauben der sekundären Spirale mit dem Galvanometer und löst einen Schließungsinduktionsschlag aus. Aus der Richtung des dabei stattfindenden Galvanometerausschlages läßt sich die Lage der Pole an der sekundären Rolle unmittelbar finden.

Vorsichtsmaßregeln bei der Anwendung von Induktionsströmen. Bei der Reizung eines Nerven mit Induktionsschlägen können

wegen unbeabsichtigter Verbreitung derselben leicht ganz fehlerhafte Resultate erhalten werden.

Steht nämlich ein Nerv mit dem einen Ende eines offenen Induktionskreises in Verbindung und wird das Tier oder das andere Ende des Kreises nach dem Erdboden hin abgeleitet, so findet jedesmal eine Reizung statt, wenn der primäre Stromkreis geschlossen oder geöffnet wird. Im Augenblick der Öffnung oder Schließung des primären Stromkreises stellt ein offener Induktionskreis eine offene Säule dar, an deren Enden sich freie Elektrizität befindet. Verbindet man das eine oder beide Enden der sekundären Rolle mit der Erde, so strömt die freie Elektrizität dorthin, und durchströmt sie auf ihrem Wege einen Nerv, so wird dieser dadurch erregt.

Dieselben Wirkungen entstehen auch dann, wenn die beiden Enden der Induktionsrolle durch einen Leiter untereinander verbunden sind, sobald dieser Leiter einen sehr großen Widerstand darbietet. In diesem Fall geht ein Teil der freien Elektrizität, statt den Weg durch den Nerv zu nehmen, direkt zur Erde und reizt ganz wie bei dem soeben genannten Falle weit entfernte Gewebe. — Um diese Wirkungen hervortreten zu lassen, ist die Ableitung zur Erde aber durchaus nicht notwendig. Hierzu genügt schon, daß das eine Ende des offenen oder unvollständig geschlossenen Induktionskreises mit einem Leiter von großer Oberfläche leitend verbunden ist. Hier strömt die Elektrizität zum Leiter hinüber, weil sie sich dort mit geringerer Dichte ausbreiten kann. Findet sich nun zwischen dem Induktionskreis und dem Leiter ein Nerv, so wird dieser gereizt. Dies ist bei Versuchen an lebenden Tieren der Fall; hier stellt der ganze Tierkörper den Leiter mit großer Oberfläche dar.

Auch in folgender Beziehung erfordert die Reizung mit Induktionsströmen eine besondere Vorsicht. Gesetzt wir bringen an die Oberfläche eines Leiters die beiden Pole *a* und *b* eines elektrischen Stromes. Dann geht nicht die ganze Elektrizitätsmenge den geraden Weg von *a* nach *b*, sondern es breiten sich mehr oder weniger bedeutende Stromzweige über entfernte Teile des Leiters aus. Bei einem lebenden Tier können sich solche Stromschleifen sehr leicht auf andere Nerven erstrecken und solcherart zu ganz fehlerhaften Ergebnissen führen.

Um diese Übelstände bei der Reizung der Nerven am lebenden Körper zu vermeiden, verbindet man die periphere Elektrode mittels eines Leitungsdrahtes mit der Erde (der Gas- oder Wasserleitung); isoliert den Nerven von der Umgebung entweder durch eine unter ihn gelegte Kautschukplatte oder dadurch, daß man ihn auf die Elektroden von der Wunde aufhebt (Luftisolierung); sorgfältig beachtet, daß er nicht trocknet, und ihn deswegen von Zeit zu Zeit mit physiologischer Kochsalzlösung (0.9 Proz. NaCl) übergießt, denn ein trockener Nerv leitet schlechter und gibt daher leichter Veranlassung zu den oben erwähnten Übelständen.

Endlich sei auf folgende Vorrichtung von Hering verwiesen (Fig. 37). Außer den gewöhnlichen Platinelektroden befindet sich am gleichen Halter isoliert angebracht ein Platinring *e e*, der sich unmittelbar unter den beiden Reizelektroden befindet. Für den Strom besteht hier also außer der Nervenstrecke zwischen den beiden Reizelektroden ein zweiter Weg von der positiven Reizelektrode durch eine kurze Nervenstrecke zu dem Schutzring und auf der anderen Seite von diesem aus ebenfalls durch eine kurze Nervenstrecke zur zweiten Elektrode zurück.

Um die Reizung möglichst punktförmig zu machen und sie also möglichst scharf zu lokalisieren, benutzt man die monopoläre Methode, welche sich darauf stützt, daß ein elektrischer Strom nur dann reizend wirkt, wenn er eine genügende Dichte, d. h. Stromstärke auf Einheit des



Figur 37. Schutzelektrode, nach Hering.

Querschnittes, hat. Leitet man also den Strom in der Weise zum Körper, daß die eine Elektrode ganz spitz ist und an der zu reizenden Stelle angelegt wird, während die andere Elektrode irgend anderswo mit einer großen Oberfläche am Körper anliegt, z. B. mit einem ins Rektum hineingeführten Metallstab oder mit einer Metallplatte, auf welcher der Körper liegt, verbunden ist, und die Stärke des Stromes nicht überaus groß ist, so ist der Strom nur bei der spitzen Elektrode genügend dicht, um eine Reizung auszulösen, und die Stromschleifen, welche den übrigen Körper durchströmen, bleiben dann ohne Wirkung.

Da der elektrische Strom, sowohl der konstante als die Induktionsströme, beim Stromschluß nur an dem negativen Pol reizt, soll die punktförmige Elektrode mit dem negativen Pol der Stromquelle, bzw. bei frequenten Induktionsströmen mit dem negativen Pol des Öffnungsinduktionsschlages verbunden sein.

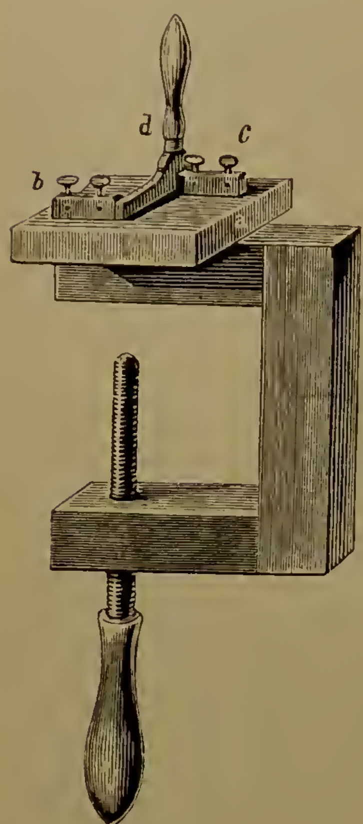
III. Unterbrecher.

Um einen konstanten Strom zu schließen oder zu öffnen, sei es um mit ihm die tierischen Gewebe direkt zu reizen, oder einen Induktionsstrom hervorzurufen, sind zahlreiche Modelle von Unterbrechern angegeben worden. Insofern diese sich auf die Auslösung ganz gleichmäßiger, einzelner Induktionsschläge beziehen, werden sie im Zusammenhang mit der

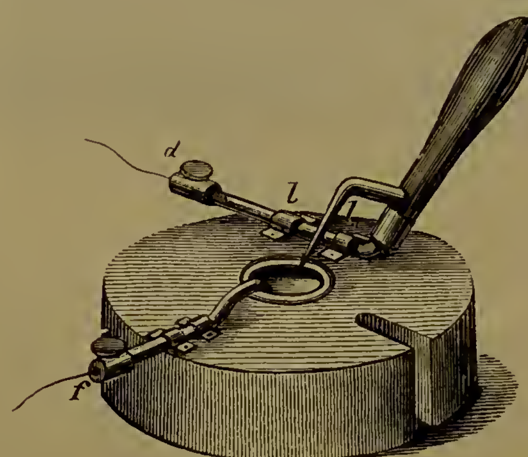
Darstellung der allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie besprochen werden. Hier sollen nur diejenigen Unterbrecher erwähnt werden, welche bei den gewöhnlichen Reizungsversuchen an lebenden Tieren in Betracht kommen.

Der Vorreiberschlüssel von du Bois-Reymond (Fig. 38) besteht aus zwei, an einer isolierenden Platte aus Ebonit *a* befestigten Messingklötzen *b*, *c*, welche mit je zwei Klemmschrauben versehen sind. Mittels eines an *c* befestigten Winkelhebels *d* (Schlüssel) können die beiden Klötze in leitende Verbindung miteinander gebracht werden.

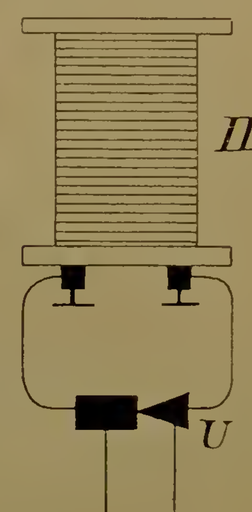
Die Anwendung dieses Apparates ergibt sich von selber. Wenn der eine Pol eines Elements mit *b* vereinigt wird und die Leitung durch einen an *c* befestigten Draht weiter fortgesetzt wird, so



Figur 38.



Figur 39.



Figur 40.

Figur 38. Vorreiberschlüssel, nach du Bois-Reymond. — Figur 39. Quecksilberschlüssel, nach du Bois-Reymond. — Figur 40. Schema für die Reizung mit Induktionsströmen. *II*, die sekundäre Rolle des Induktoriums; *U*, Unterbrecher als Nebenschließung.

wird der Strom beim Herabdrücken des Hebels geschlossen, bei dem Heben desselben geöffnet.

Auch kann der Schlüssel als Nebenschließung benutzt werden: die Pole der Stromquelle werden mit je einem der Klötze und mit diesen außerdem noch die Leitungsdrähte zum Nerv verbunden. Wenn der Hebel herabgedrückt wird, stellt er wegen seines geringen Widerstandes eine so gute Nebenschließung dar, daß zum Nerv kein Stromzweig merkbarer Stärke gelangt; beim Heben des Hebels ergießt sich dagegen der Strom unverkürzt durch den Nerv.

Eine andere derartige Vorrichtung stellt der Quecksilberschlüssel, dessen Bau aus der Figur 39 ohne weiteres ersichtlich ist, und welcher in bezug auf seine Anwendung in allem Wesentlichen mit dem Vorreiberschlüssel übereinstimmt, dar.

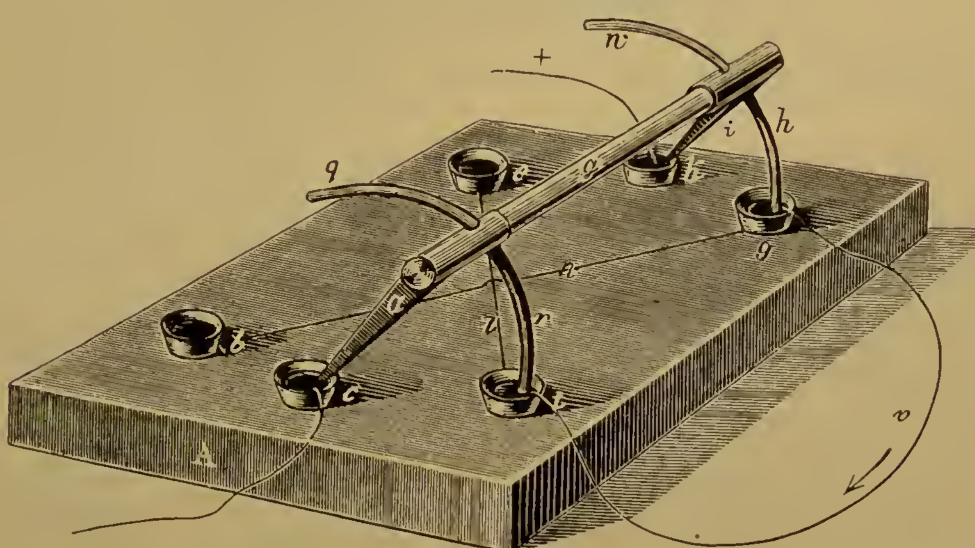
Bei der Reizung des Nerven mit schnell nacheinander folgenden Induktionsströmen, wie sie bei schwingender Feder des Induktionsapparates

erhalten werden (vgl. S. 32), soll man immer die zuletzt erwähnte Anordnung, welche in Figur 40 schematisch dargestellt ist, benutzen. Die Reizung findet dann nur in dem Augenblick statt, wo die Nebenschließung durch Heben des Hebels beseitigt wird. An vielen Induktionsapparaten ist ein solcher Hebel direkt an der sekundären Rolle befestigt.

Durch diese Anordnung kann man wenigstens davor sicher sein, daß bei geschlossenem Schlüssel keine Stromschleifen den Nerv treffen können, was bei offenem Schlüssel gar zu leicht eintrifft, wenn der Schlüssel direkt in die Leitung eingeschaltet ist.

IV. Stromwender.

Die Richtung des Stromes wird durch die Pohlsche Wippe (Fig. 41) verändert. In eine Holz- oder Ebonitplatte sind sechs Löcher gebohrt,



Figur 41. Pohlsche Wippe.

welche mit Quecksilber gefüllt sind; dieses steht mit je einer Klemmschraube in Verbindung. In die zwei mittleren Löcher ist je ein dreiarmiger Bügel eingesetzt; die beiden Bügel sind mit einem isolierenden Griff aus Glas oder Ebonit verbunden. Von den vier anderen Löchern sind durch die voneinander isolierten Kupferdrähte *l*, *n* je zwei kreuzweise miteinander verbunden.

Von der Batterie wird der Strom den Löchern *k* und *c* zugeführt, die weitere Leitung des Stromes erfolgt durch Leitungsdrähte, die mit den Löchern *g* und *t* verbunden sind.

Es ist nun leicht zu ersehen, daß der in diesen Drähten fließende Strom je nach der verschiedenen Stellung der dreiarmigen Bügel in entgegengesetzter Richtung gehen muß. Bei der in der Figur dargestellten Stellung des Bügels geht der Strom von *k* durch *i* und *h* nach *g* und dann in der Richtung des Pfeiles durch den Draht *v* nach *t*, *r*, *a* und *c*. Wenn

der Bügel mit den Enden *q* und *w* in die Löcher *b* und *e* gestellt wird, geht der Strom von *k* durch *i* und *w* nach *e* und davon durch den Draht *l* zu *l*; von diesen fließt er durch *v* nach *q* und gelangt endlich durch den Draht *n* nach *b*, *q*, *a* und *c*.



Figur 42. Ruhmkorffs Stromwender.

Ein anderer Stromwender, bei welchem das Quecksilber vermieden ist, ist der Stromwender von Ruhmkorff (Fig. 42). Die Drähte von der Elektrizitätsquelle sind mit den Schrauben *a* und *b*, die Fortsetzung zum Präparat mit den Schrauben *c* und *d* verbunden. Je nach der Lage der Walze geht der Strom in der Richtung *a-c-d-b* oder *a-d-c-b*.

V. Elektroden.

Bei der Reizung der Gewebe am lebenden Tiere genügen in der Regel Elektroden aus Platin, welche mittels kleiner Klemmschrauben mit den Leitungsdrähten von der Stromquelle verbunden sind.

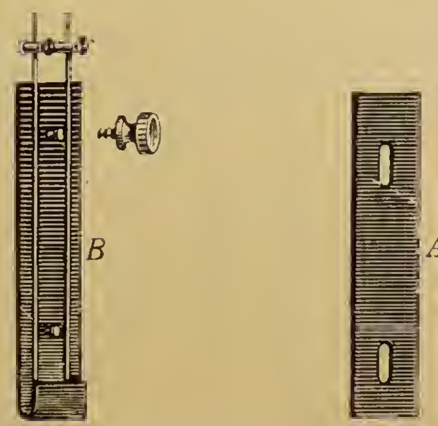
Die einfachste Form solcher Elektroden ist die in Figur 43 dargestellte, welche z. B. bei der Reizung der Gehirnoberfläche benutzt wird. Sie besteht aus zwei Platindrähten, welche mit je einer Klemmschraube versehen sind, innerhalb einer Ebonitplatte verlaufen und mit ihren Spitzen über deren Rand hervorragen.

Etwa dieselbe Form kommt auch bei der Reizung eines Nervenstammes vor, nur wird das untere Ende des Ebonites und damit auch die Enden der Platindrähte umgebogen, so daß der Nerv auf diese Enden gelegt und mittels derselben von der Wunde zur Luftisolierung gehoben werden kann.

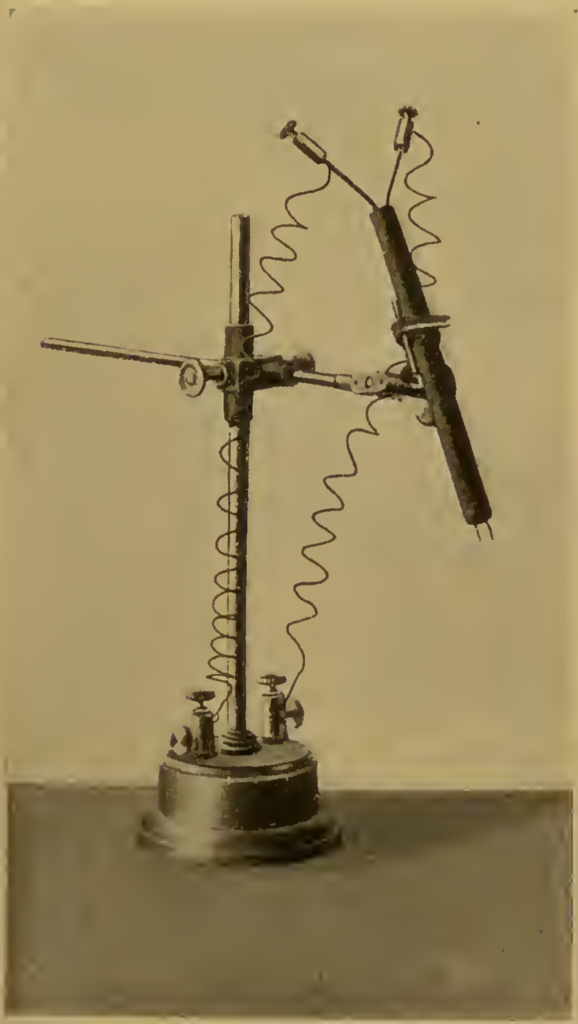
Hier begegnen wir insofern einem Übelstand, als wir den Nerv immer von neuem auf die Elektroden bringen müssen, da er sonst gar zu leicht durch Verdunstung zerstört werden würde. Daher benutzt man, wo dies nur geschehen kann, bei der Reizung tiefliegender Nerven die von Ludwig

empfohlenen versenkbaren Elektroden, bei denen allerdings die Gefahr abnormer Stromverbreitung größer ist und daher besonders berücksichtigt werden muß.

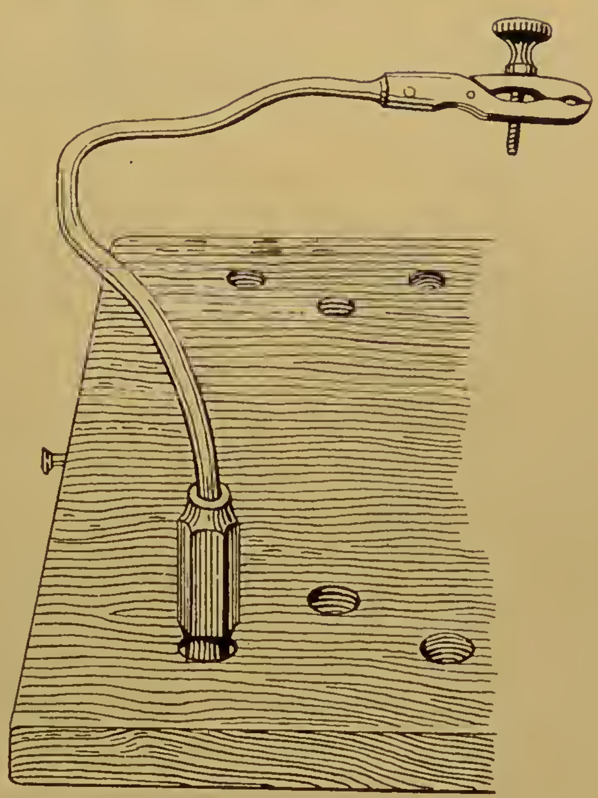
Figur 44 zeigt die Konstruktion eines solchen Elektrodenpaares. Die Platindrähte tragen oben die Klemmschrauben und sind in der Ebonitplatte eingeschlossen, bis sie nach unten in einer Rinne der Platte frei endigen. Der Nerv wird in diese Rinne gelegt. Vorn trägt die Platte noch ein Stück aus Ebonit (*A*),



Figur 44.



Figur 43.



Figur 45.

Figur 43. Elektroden, nach Hering. — Figur 44. Versenkbare Elektroden, nach Ludwig. — Figur 45. Elektrodenhalter, nach C. Tigerstedt.

das ihr entlang gleitet und mittels einer Schraube in der richtigen Lage festgehalten werden kann. Auf den in der Rinne liegenden Nerv legt man einen in physiologische, 0.9 prozentige Kochsalzlösung getränkten Wattebausch und schiebt das Stück *A* nach unten, so daß die Watte mit einem ganz schwachen Druck auf dem Nerv lastet und also die Berührung zwischen ihm und den Platindrähten sichert.

Um zu vermeiden, daß die versenkten Elektroden den Nerv zerren, ist es zweckmäßig, sie in einen bleiernen Arm zu fassen, der am Operations-

tisch in einem Loch festgesetzt wird und in jeder Richtung verschoben werden kann (Fig. 45). Derselbe Arm kann auch dazu dienen, um in die Gefäße eingebundene Kanülen in der richtigen Lage zu halten.

Bei monopolarer Reizung ist die wirksame Elektrode ganz ähnlich konstruiert wie die hier beschriebenen, nur besteht sie aus einem einzelnen Platindraht.

Über die in der allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie benutzten, unpolarisierbaren Elektroden, vgl. Kap. XIII.

DRITTES KAPITEL.

Die graphische Methode.

Das Prinzip der graphischen Methode besteht darin, daß man durch dazu geeignete Vorrichtungen einen gewissen Vorgang sich selbst auf eine stillstehende oder bewegte Oberfläche aufzeichnen läßt.

Wenn ein vom Körper ausgeschnittener Froschmuskel an seinem oberen Ende an ein Stativ aufgehängt und durch einen elektrischen Strom plötzlich gereizt wird, so verkürzt er sich und geht unmittelbar nachher wieder in die Ruhe über. Diese Bewegung verläuft indessen zu schnell, um in ihren Einzelheiten mit dem Auge analysiert werden zu können. Wenn man an dem Stativ unterhalb des Muskels einen Hebel mit feiner Spitze befestigt und den Muskel mit diesem verbindet sowie die Spitze des Hebels gegen eine berußte Oberfläche sanft anlegt, so zeichnet diese Spitze auf der Oberfläche einen Strich, welcher den Umfang der Muskelkontraktion angibt. Wird endlich die betreffende Oberfläche während der Muskelkontraktion mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegt, so zieht sich dieser Strich in die Form einer Kurve, welche nun alle Einzelheiten der Muskelkontraktion verfolgen läßt, aus.

Die wesentlichen, bei der graphischen Methode angewendeten Vorrichtungen sind also:

1. der Schreibhebel,
2. die Schreibfläche (Registrierapparat),
3. die Vorrichtung zur Zeitbestimmung.

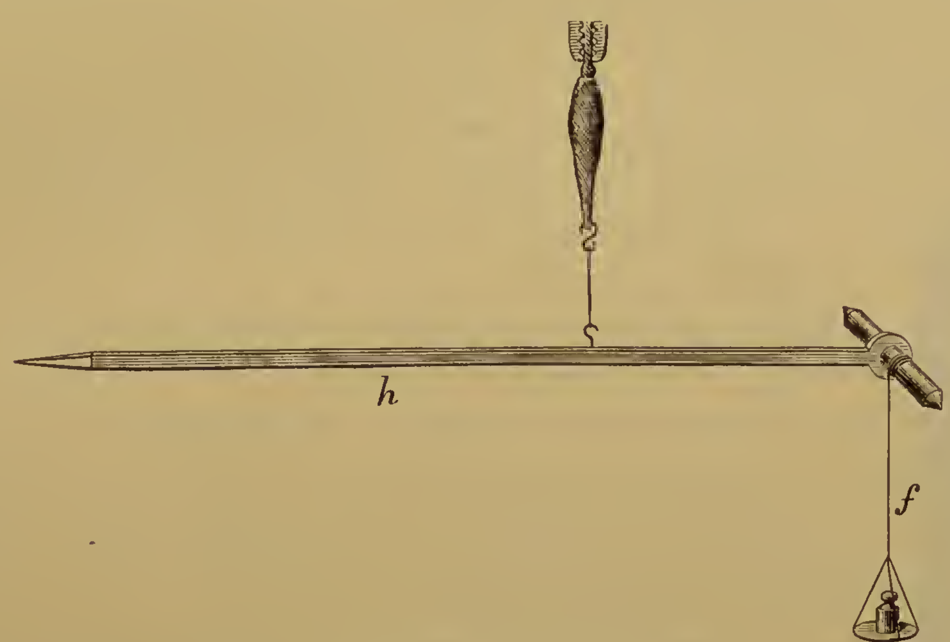
I. Schreibhebel.

A. Allgemeines.

Im allgemeinen werden die zu registrierenden Bewegungen durch den Schreibhebel in vergrößertem Maßstab wiedergegeben, indem der Angriffspunkt der Kraft mehr oder weniger entfernt von der Schreibspitze angebracht wird.

Dadurch entsteht leicht die Gefahr, daß der Hebel durch seine Trägheit die zu registrierende Bewegung mehr oder weniger fälscht.

Um dies tunlichst zu vermeiden, bringt man (Fig. 46) das belastende Gewicht möglichst nahe an die Hebelachse, damit dieses eine so kleine



Figur 46. Schreibhebel, nach Langendorff.

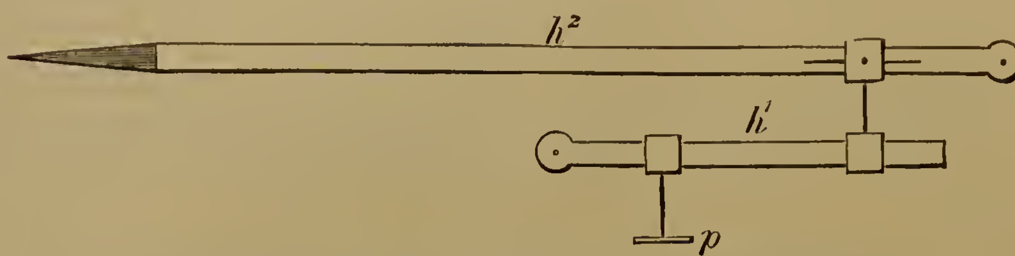
Beschleunigung wie möglich bekomme, und den Angriffspunkt der Kraft, d. h. der zu registrierenden Bewegung in einer genügenden Entfernung davon.

Ferner soll das Material, aus welchem der Hebel hergestellt wird, möglichst leicht sein; in vielen Fällen eignet sich ein hohler Strohhalm am besten hierzu.

Die Masse des Hebels wird natürlich um so größer, je länger er ist. Daher soll, nach O. Frank, die Länge des Hebels nie mehr als etwa 15 cm betragen; hierdurch wird auch der Gefahr einer dynamischen Durchbiegung des Hebels wesentlich vorgebeugt. Je kürzer ein Hebel gewählt werden kann, um so zuverlässiger ist er unter sonst gleichen Umständen.

Da man aber auf eine genügende Vergrößerung der zu registrierenden Bewegung nicht verzichten kann, andererseits aus technischen Gründen den kurzen Hebelarm nicht über eine gewisse Grenze verkürzen darf, wendet man da, wo eine stärkere Vergrößerung notwendig erscheint, einen Doppel-

hebel, wie er in Figur 47 schematisch dargestellt ist, an; bei zweckmäßiger Konstruktion brauchen die hier in Betracht kommenden Massen nicht wesentlich größer als die des einfachen, kurzen Hebels zu sein.



Figur 47. Schema eines Doppelhebels, nach Langendorff.

Gewöhnlich ist die Hebelachse an ihren beiden Enden zugespitzt, und diese lagern dann in konischen Vertiefungen. Hierbei wird indessen die Reibung der Spitzen in den Lagern unregelmäßig, und es kann außerdem noch eintreffen, daß sie bei zu starker Annäherung der konischen Lager ganz festgeklemmt werden. Auf Grund dessen empfiehlt O. Frank eine Lagerung, bei welcher die Spitzen senkrecht zur Hebelachse stehen und der Hebel sich wie ein Wagebalken auf den konischen Lagern dieser Spitzen dreht. Bei diesen freien Achsen müssen natürlich die Spitzen durch eine genügend große Kraft an die Unterlage angedrückt werden, denn sonst werden sie bei der Bewegung abgeschleudert (vgl. Fig. 48).



Figur 48. Hebel mit freier Achse, nach O. Frank.

Der Schreibhebel kann in zweierlei Weise gegen die Schreibfläche angelegt werden, nämlich 1. so, daß seine Spitze eine Tangente der Schreibfläche bildet, oder 2. so, daß er senkrecht gegen diese steht.

Im ersten Falle, bei der Tangentialschreibung, zeichnet der Hebel bei stillstehender Schreibfläche Bogenlinien, deren Mittelpunkt die Hebelachse darstellt. Wenn an zwei gleichzeitig geschriebenen Kurven einzelne Punkte untereinander verglichen werden sollen, darf man sie daher nicht einfach mit geraden vertikalen Linien verbinden, sondern muß bogenförmige, den Bewegungen des Hebels entsprechende Ordinaten ziehen (vgl. Fig. 49).

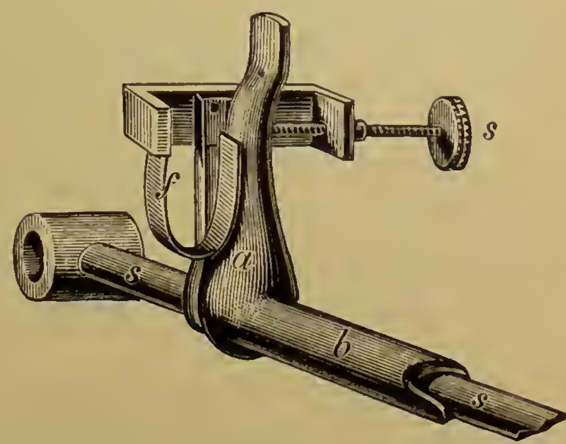


Figur 49. Bogenförmige Ordinaten.

Insbesondere weil die Masse des Hebels hierbei in höherem Grade als bei der Stirnschreibung reduziert werden kann, wird diese Schreibweise im allgemeinen bevorzugt.

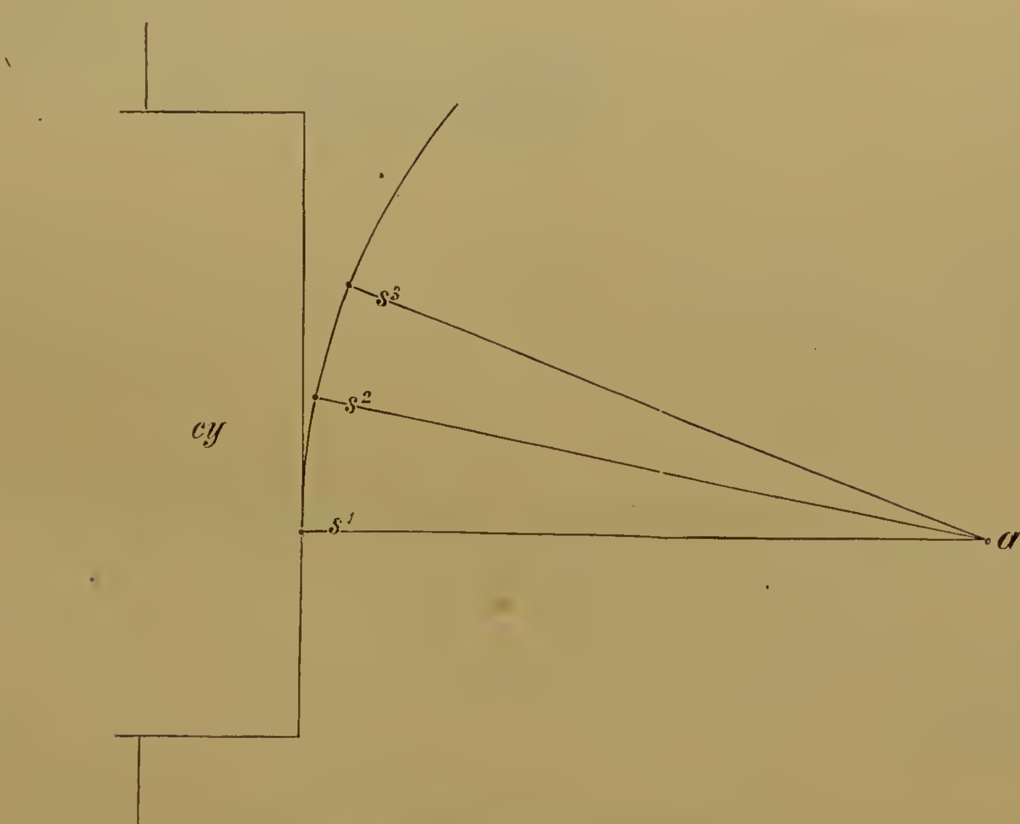
Bei der Tangentialschreibung ist es sehr nützlich, wenn der Hebel mittelst einer feinen Schraube um die Achse des ihn tragenden Stativs gedreht werden kann, so daß er immer mit möglichst geringer Reibung gegen die Schreibfläche angedrückt wird. Eine Vorrichtung zu diesem Zwecke ist in Figur 50 abgebildet. Die

Stange *ss*, welche an irgendeinem Stativ befestigt wird, trägt den mit der Feder *f* und der Schraube *s* versehenen ⊔förmigen Fortsatz. Dieselbe Stange wird von dem Rohr *b* mantelartig umschlossen; von ihm geht der von *f* und *s* umfaßte Fortsatz *a* aus. Der Schreibhebel wird endlich mittels einer Hülse auf *b* geschoben. Durch Drehung an der Schraube *s* wird nun *b* und mit ihm auch der Schreibhebel gedreht und solcherart der Kontakt zwischen Schreibspitze und Papier in der feinsten Weise reguliert.



Figur 50. Vorrichtung zur feinen Einstellung bei Tangentialschreibung, nach Marey.

Im zweiten Falle, bei der Stirnschreibung, müssen, wie aus der Figur 51 ohne weiteres ersichtlich ist, besondere Maßnahmen vorgenommen werden, damit die Schreibspitze immer an der Schreibfläche anliegt. Zu diesem Zwecke wird die Schreibspitze durch ein Gelenk mit dem Hebel verbunden und mittels eines elastischen



Figur 51. Stirnschreibung, Schema nach Langendorff.

Bandes gegen die Schreibfläche gedrückt (vgl. Fig. 52). Selbst wenn diese Vorrichtungen noch so leicht sein mögen, vergrößern sie in einem nicht unwesentlichen Grade die zu bewegenden Massen, und übrigens übt jede Anhäufung von Massen, wenn sie am freien Ende des Hebels angebracht wird, einen viel größeren, schädlichen Einfluß aus, als wenn sie nahe der

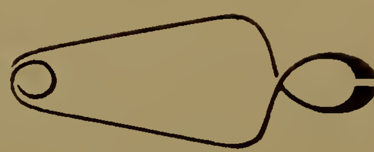
Hebelachse stattfindet. Auch ist die Reibung der Schreibspitze gegen die Oberfläche des Zylinders hier größer als bei der Tangentialschreibung.

Eine geradlinige Bewegung der Schreibspitze findet in dem Falle statt, wenn die Bewegungen eines auf- und niedergehenden Kolbens oder einer in einer Röhre eingeschlossenen Flüssigkeit mittels eines Schwimmers, wie z. B. beim Quecksilbermanometer, registriert werden.

Die Art und Weise, in welcher der Hebel mit dem Objekt, dessen Bewegungen registriert werden sollen, verbunden wird, richtet sich nach der zu registrienden Bewegung und wird bei der Besprechung der speziellen Versuchsmethoden näher dargestellt werden.



Figur 52.



Figur 53.

Figur 52. Hebel für Stirnschreibung, nach Ludwig. — Figur 53. Serre-fine, vergrößert (2 : 1, 3 : 1, 4 : 1).

In vielen Fällen, wie vor allem beim ausgeschnittenen Froschmuskel, geschieht dies einfach unter Vermittlung eines Fadens. Nimmt man einen längeren Faden, so kann man in dieser Weise sehr bequem viele Bewegungen registrieren, die mit kurzen Fäden überhaupt nicht hätten registriert werden können. So z. B. die Bewegungen des Herzens. An der Herzwand wird eine kleine Pinzette (Serre-fine, Fig. 53; ein zweckmäßig gebogener Stahldraht, dessen Enden abgeplattet und mit ineinandergreifenden Zacken versehen sind) festgesetzt und diese mittels eines an die Öse geknüpften Fadens mit dem Registrierhebel verbunden (das Suspensionsverfahren Engelmanns).

B. Registrierung durch Luftübertragung.

Es ist nicht selten ganz unmöglich, das Organ, dessen Bewegungen registriert werden sollen, direkt mit dem Schreibhebel zu verbinden. In diesen Fällen leistet die Registrierung durch Luftübertragung sehr wertvolle Dienste.



Figur 54. Schema zur Luftübertragung, nach Marey.

Das Prinzip dieser Methode ist aus folgendem ersichtlich.

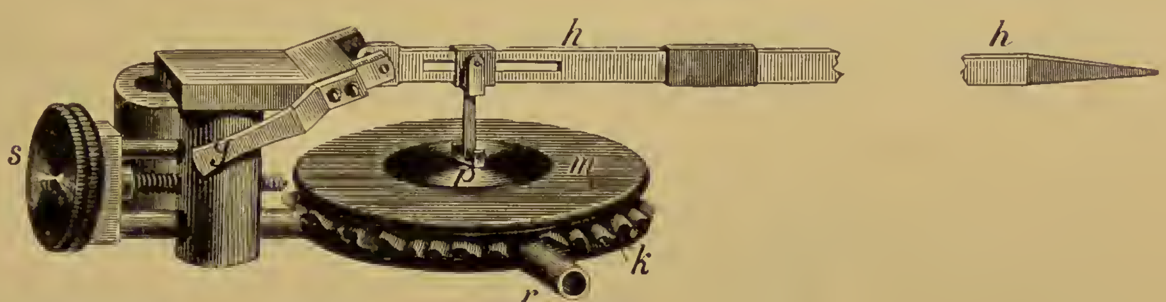
Wenn ein Gummiballon *A* (Fig. 54) mittels eines Schlauches mit einem anderen Gummiballon *B* verbunden ist und auf *A* ein Druck ausgeübt wird, so steigt natürlich der Druck im ganzen System, und infolgedessen muß sich

der Ballon *B* erweitern. Wird nun an diesen in geeigneter Weise ein Schreibhebel befestigt, so werden die von *A* aus erzeugten Druckveränderungen durch den Hebel registriert.

Bei allen Anwendungen der Registrierung mittels Luftübertragung ist die registrierende Vorrichtung von den zur Aufnahme der zu registrierenden Bewegung benutzten ganz unabhängig. Ich werde daher jene hier beschreiben und die Aufnahmevorrichtungen bei der Besprechung der speziellen Versuchsmethoden darstellen.

Die registrierenden Vorrichtungen sind dreierlei Art, nämlich 1. die Schreibkapsel von Marey; 2. der Pistonrekorder von Ellis und 3. der Blasebalg von Brodie.

1. Die Schreibkapsel von Marey besteht aus einer hohlen, metallenen Kapsel *k* (Fig. 55), die an ihrer Seite eine Röhre *r* zum Ansatz des Schlauches trägt und mit einer gespannten elastischen Membran *m* überzogen ist. An der Seite der Kapsel befindet sich das Lager für die Hebelachse; die Membran greift den Hebel unweit von der Achse mittels einer Gelenk-



Figur 55. Schreibkapsel, nach Marey.

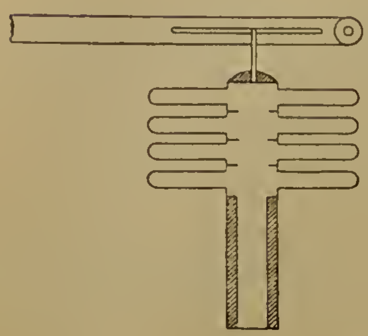
verbindung oder eines einfachen Stiftes an, und der Hebel *h* endet mit einer Schreibspitze. Da die Entfernung von der Achse bis zur Schreibspitze viel größer ist als die zwischen jener und dem Angriffspunkt der Membran, werden dessen Ausschläge von dem Hebel in entsprechendem Umfange vergrößert.

Wenn die Kapsel mit der Membran nach oben gekehrt benutzt wird, kann die Verbindung Hebel-Membran unter Anwendung eines Stiftchens stattfinden; hier liegt der Hebel frei auf dem Stiftchen. Da man indessen sehr oft in der Lage ist, die Kapsel mit der Membran nach unten oder senkrecht stellen zu müssen, ist die gelenkige Verbindung zwischen Hebel und Membran die gewöhnlichere.

In beiden Fällen muß natürlich das Stiftchen in irgendeiner Weise an der Membran festgesetzt werden, was in der Regel so geschieht, daß auf die Membran eine sehr dünne Platte *p* aus Aluminium mit Gummi geklebt wird; an dieser ist das Stiftchen festgenietet.

Im allgemeinen werden zu den Luftkapseln Membranen aus Kautschuk benutzt; die Dicke des Kautschuks wird natürlich nach dem augenblicklichen Bedarf zu wählen sein; in den meisten Fällen wird hierzu der feine Gummi der Kondome angewendet.

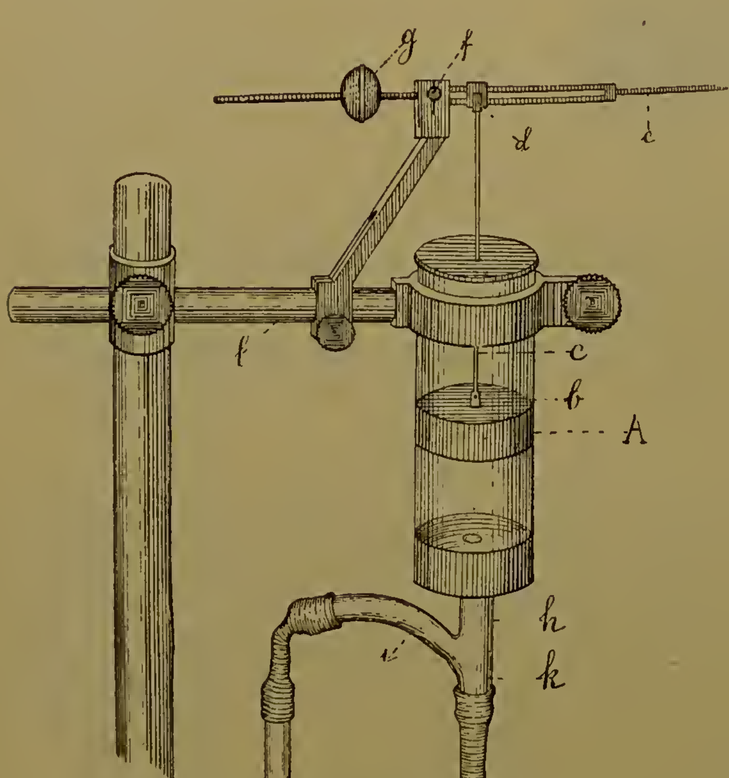
Die Kautschukmembranen leiden indessen unter dem Übelstand, daß sie sehr vergänglich sind. Bei den gewöhnlichen Schreibkapseln werden sie in Fällen, wo keine größeren Ausschläge in Frage kommen, zweckmäßig durch Goldschlägerhäutchen ersetzt. Sandström in Lund verfertigt Luftkapseln, wo die elastische Membran aus dünnem Zelluloid besteht; diese sind sehr zu empfehlen, da ihre Zelluloidmembran unbegrenzt lange leitungsfähig bleibt, natürlich wenn sie nicht durch einen zu großen inneren Druck geradezu zerreißt (Fig. 56).



Figur 56. Schreibkapsel, nach Sandström.

Bei der Anwendung der Methode der Luftübertragung müssen an den Hebel usw. ganz dieselben Anforderungen wie bei der direkten Registrierung gestellt werden, und zwar um so mehr, da die im System eingeschlossene Luft einen neuen elastischen Faktor darstellt, der bei der direkten Registrierung fehlt.

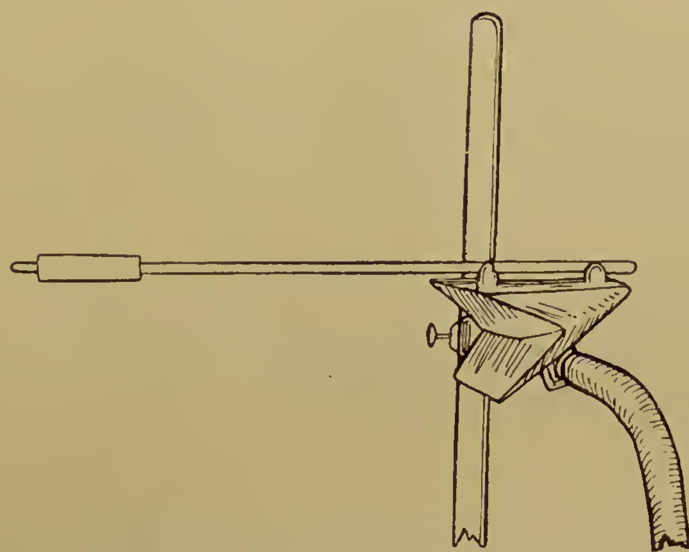
2. Der Pistonrekorder (Fig. 57) besteht aus einem zylindrischen Glasrohr *A*, in welchem sich ein hohler Kolben aus Ebonit *b* mit einer Wandstärke von nur 0,5 mm bewegt. Der Kolben trägt einen Stift, dessen Bewegungen durch den Hebel *e* in vergrößertem Maßstabe registriert werden. Zur Dichtung des Kolbens dient ein leichtflüssiges Öl (Pfeffermünzöl). Auf die obere Fläche des Kolbens darf kein Öl kommen. Die Verbindung mit dem Aufnahmeapparat findet durch den Schlauch *k* statt; die Verzweigung bei *i* dient dazu, um Luft vom Rohre aus- und in dasselbe einzulassen, wenn der Kolben zu hoch oder zu niedrig stehen würde.



Figur 57. Pistonrekorder, nach Ellis.

3. Der Blasebalg von Brodie (Fig. 58). Der eigentliche Balg besteht aus Goldschlägerhäutchen, das mit einer verdünnten alkoholischen Leinöllösung gefirnißt ist. Die feststehende, von der Röhre durchbohrte Grundplatte besteht aus Metall, Holz oder Ebonit, die bewegliche Platte aus einem mit Papier überklebten Aluminiumrähmchen. Auf der beweglichen Platte ist der Schreibhebel befestigt.

Bei der Luftkapsel von Marey wird der Widerstand gegen die Bewegung, wegen der Elastizität des Gummis, immer größer, je mehr die Membran sich ausgedehnt hat. Bei dem Pistonrekorder und dem Blasebalg ist dies nicht der Fall. Daher empfehlen sich diese Apparate insbesondere



Figur 58. Brodies Blasebalg.

da, wo bei der Registrierung mittels Luftübertragung Druckvariationen im Systeme möglichst ausgeschlossen werden sollen.

Bei jeder Anwendung der Methode der Luftübertragung schaltet man in die Leitung ein T-Rohr mit Kautschukverschluß und Quetschhahn zur Regulierung des Luftdruckes ein.

C. Die Schreibfeder.

Die Fläche, auf welche die Schreibspitze die Bewegungen des Hebels zeichnen soll, ist entweder berußt oder nicht. Im ersten Falle findet die Registrierung dadurch statt, daß die Schreibspitze die feine Rußschicht wegkratzt, im zweiten muß die Registrierung durch eine mit Tinte gefüllte Feder ausgeführt werden.

Bei berußter Schreibfläche sind Schreibfedern aus dünnem Papier die allerzweckmäßigsten. Im Falle der Stirnschreibung befestigt man das Papierschnitzel in der aus Figur 52 ersichtlichen Weise an der an dem vorderen Ende des Hebels befindlichen Nadel, oder man kann auch die Nadel selbst in entsprechender Weise biegen und sie mit etwas abgestumpfter Spitze an der Schreibfläche zeichnen lassen.

Mit dieser Anordnung bietet es keinerlei Schwierigkeit, die Schreibspitze bei jeder Lage an die Schreibfläche zu drücken. Auch bei der direkten Registrierung der Ausschläge eines auf- und niedergehenden Kolbens bzw. eines Manometerschwimmers wird die Berührung der Schreibspitze mit der Schreibfläche leicht gesichert, indem ein mit einem Bleikügelchen belasteter, dünner, von einem am Registrierapparat oder Mano-

meter selbst befestigten Arm herabhängender Faden die Schreibspitze gegen die Schreibfläche sanft andrückt.

Bei der tangentialen Schreibung ist es am schwierigsten, die Schreibspitze unter Vermeidung einer zu starken Reibung immer in die richtige Lage zu bringen. Man muß daher versuchen, den Schreibhebel genau senkrecht gegen die Drehungsachse des Registrierzylinders zu stellen; an und für sich genügt dies indessen noch nicht, sondern die Schreibspitze soll außerdem noch mit einer sehr leichten federnden Gewalt gegen die (zylindrische) Schreibfläche gedrückt werden, weil es sonst eintrifft, daß nicht die ganze Kurve geschrieben wird.

Zu diesem Zwecke ist die von Bayliss angegebene Schreibfeder wohl die beste. Ein Papierstreifen wird quer durchschnitten und die beiden Stückchen an ein Stück Goldschlägerhäutchen mit Syndetikon geleimt, so daß letzteres zwischen beiden einen Raum von etwa 1 mm Breite einnimmt



Figur 59.



Figur 60.

Figur 59. Schreibfeder, nach Bayliss. — Figur 60. Schreibfeder für Tinte.

(vgl. Fig. 59). Das eine Ende der Schreibspitze wird an den Hebel geleimt, das andere, freie Ende in zweckentsprechender Weise zugespitzt.

Beim Schreiben mit Tinte auf nicht berußtes Papier ist die Reibung wohl immer wesentlich größer als bei der Rußschreibung, weshalb die Tinteschreibung nur da vorkommen kann, wo keine feineren Einzelheiten des betreffenden Vorganges bei der Kurve studiert werden sollen.

Als Schreibfeder benutzt man hier eine aus Platin- oder Neusilberblech verfertigte Feder von dem in Figur 60 dargestellten Aussehen. In die Öffnung der kleinen Pyramide setzt man einen feinen, baumwollenen Faden fest und schneidet dessen freies Ende ganz kurz ab. Der Faden wirkt hier gewissermaßen als ein Lampendocht. — Diese Feder ist immer sofort fertig zum Anwenden.

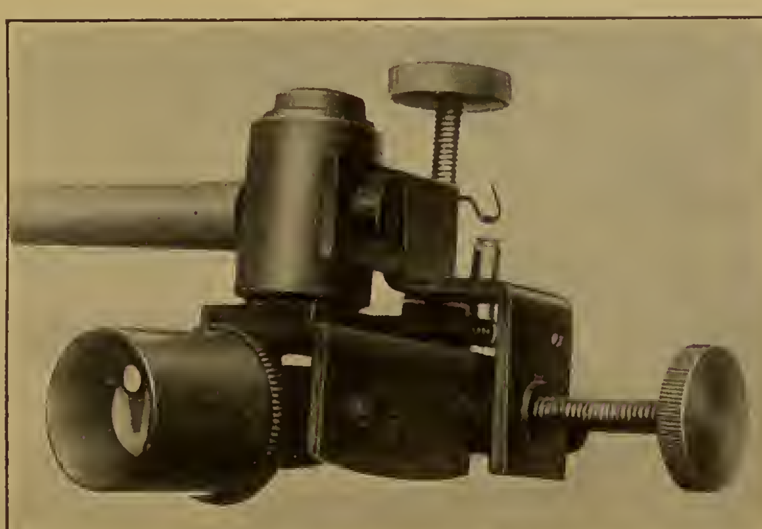
Als Tinte ist gewöhnliche, schwarze oder blaue Schreibtinte, etwas verdünnt, zu empfehlen. Die sehr leicht fließende rote Tinte, die ja im allgemeinen benutzt wird, bietet den Übelstand dar, daß die Schrift in der Sonne allmählich verblaßt, weshalb die damit geschriebenen Kurven, die eine Zeitlang in einem Fenster gelegen haben, stellenweise zerstört sein können.

D. Lichthebel.

Ein materieller Hebel, sei er auch der allerbesten einer, hat indessen immer noch eine gewisse Masse, die unter Umständen die zu registrierende

Bewegung ganz fälschen kann, und auch die Reibung der Schreibspitze an der Schreibfläche kann unter Umständen eine bedeutende Deformation der Kurve verursachen. Außerdem ist aus schon angegebenen Gründen eine Grenze für die anzuwendende Vergrößerung gesetzt. Hierzu kommt noch, daß sich vielerlei Bewegungen gar nicht mittels eines Hebels registrieren lassen, teils weil sie, wie die Ortsveränderungen des Gesamtkörpers, zu umfangreich und zu kompliziert sind, teils weil sie, wie die Ausschläge eines Galvanometers, zu wenig kräftig sind.

Diese und andere Übelstände können durch die photographische Registrierung aufgehoben werden; hier tritt an Stelle des Hebels der massenlose Lichtstrahl, der ohne jede Reibung auf die lichtempfindliche Platte schreibt. Die Registrierung findet hier vielfach in der Weise statt, daß man die betreffende Bewegung auf einen kleinen Spiegel einwirken läßt; gegen den Spiegel wird ein Lichtstrahl geworfen, der seiner-



Figur 61. Herztonkapsel, nach Frank.

seits durch den Spiegel gegen das lichtempfindliche Papier geworfen wird. Bei anderen Methoden wird das Bild des Objektes selber oder auch sein Schatten auf die lichtempfindliche Platte projiziert.

Als Beispiel eines Registrierspiegels sei auf Figur 61 verwiesen, welche eine sogen. Herztonkapsel von Frank darstellt. Diese besteht aus einem Hohlraum, dessen vordere Öffnung mit einer dünnen Gummimembran geschlossen ist; die Membran trägt den Spiegel. Auf der andern Seite steht der Hohlraum durch einen Schlauch mit dem aufnehmenden Apparat in Verbindung. Die Herztonkapsel stellt also eine Schreibkapsel mit Lichthebel dar.

Es muß aber bemerkt werden, daß auch bei der photographischen Registrierung die Einwirkungen derjenigen Vorrichtungen, welche zur Aufnahme der betreffenden Bewegung benutzt werden, in Betracht zu ziehen sind, und ihrerseits können diese natürlich bei der photographischen Registrierung ebensowohl wie bei der mittels materieller Schreibhebel das

Resultat beeinflussen. Die photographische Registrierung ersetzt also nur den Schreibhebel, nicht aber die übrigen bei der Registrierung benutzen Vorrichtungen.

II. Registrierapparate.

Als allgemeine Anforderung an einen Registrierapparat gilt, daß er sich mit einigermaßen konstanter Geschwindigkeit bewegt, daß sich die Geschwindigkeit innerhalb gewisser Grenzen variieren läßt, sowie daß er Raum für genügend zahlreiche Aufzeichnungen bietet.

Als Schreibflächen hat man hauptsächlich plane und zylindrische Flächen benutzt, und auch jetzt sind alle beide in Gebrauch, erstere indessen fast nur in der Form eines auf zwei Wellen bewegten „unendlichen" Papieres.

A. Registrierzylinder.

Im allgemeinen beträgt der Umfang des Zylinders rund 500 mm; die Höhe ist bei den meisten etwa 15 cm.

Zur Umdrehung des Zylinders kommen alle möglichen Motoren in Verwendung. Die einfachsten Apparate werden mit der Hand bewegt, andere durch ein Uhrwerk, wieder andere mit einem elektrischen Motor, und endlich hat man Registrierzylinder gebaut, welche von der gemeinsamen Achse einer Kraftleitung unter Anwendung von Triebschnuren in Bewegung versetzt werden.

Auch die hier benutzten Uhrwerke sind sehr verschieden, von den fabrikmäßig hergestellten Uhrwerken der Weckeruhren, zu den verhältnismäßig sehr gut gearbeiteten, für das Grammophon konstruierten Uhrwerken und Uhrwerken, welche den höchsten Anforderungen der Präzisionsmechanik genügen.

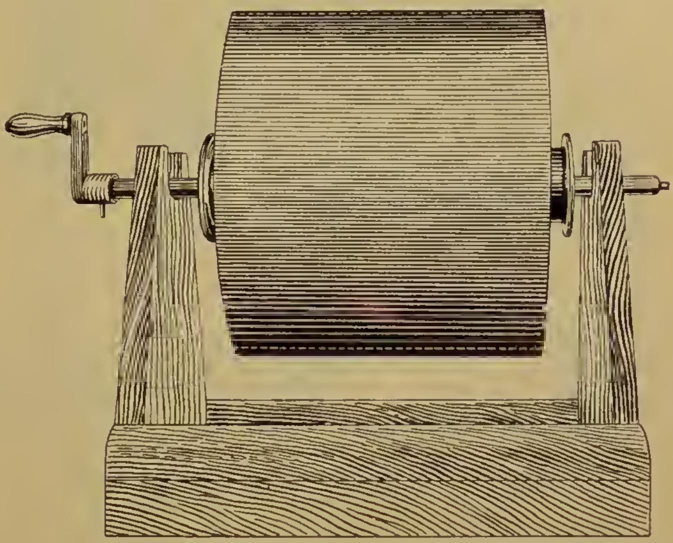
Um bei einem und demselben Registrierapparat eine verschiedene Umdrehungsgeschwindigkeit zu erzielen, stehen mehrere Mittel zur Verfügung: Verstellen der Zahnräder des Uhrwerks gegeneinander; Anwendung verschieden starker Übersetzung bei den von der Kraftleitung bewegten Apparaten; Verschieben einer Friktionsrolle gegen eine Friktionsscheibe; Veränderung der Größe der Windflügel am Regulator des Uhrwerks, usw.

Es ist natürlich, daß ein Registrierapparat eine um so größere Verwendbarkeit hat, je weiter die Grenzen sind, innerhalb welchen die Geschwindigkeit verändert werden kann. Andererseits gilt auch hier, daß man für spezielle Zwecke besser ausreicht, wenn man Apparate besitzt, welche gerade für diese Zwecke gebaut sind.

Ein universaler Registrierapparat soll noch die Bewegung des Zylinders sowohl in vertikaler als in horizontaler Lage gestatten; der Zylinder soll sich längs der Achse verschieben lassen, so daß mehrere Kurvenreihen

nacheinander aufgenommen werden können; die Geschwindigkeit soll während stattfindender Registrierung ohne jede Störung des Versuchs schnell verändert werden können, ohne daß die Bewegungsrichtung bzw. die Lage der Achse des Zylinders dabei verändert wird. Bei gewissen Apparaten kann man noch bei jeder Geschwindigkeitsveränderung auch die absolute Größe der Geschwindigkeit direkt ablesen, was bei vielen Versuchen eine große Erleichterung darstellt.

Ein guter Registrierapparat soll außerdem so eingerichtet sein, daß die zur Aufzeichnung der betreffenden Bewegung dienenden Schreibhebel ohne Schwierigkeit an die Schreibfläche angelegt werden können. Ein gerade für den vorliegenden Apparat gebautes Stativ für die Aufnahme dieser Hebel usw. ist daher sehr nützlich und findet sich auch bei mehreren Registrierapparaten.

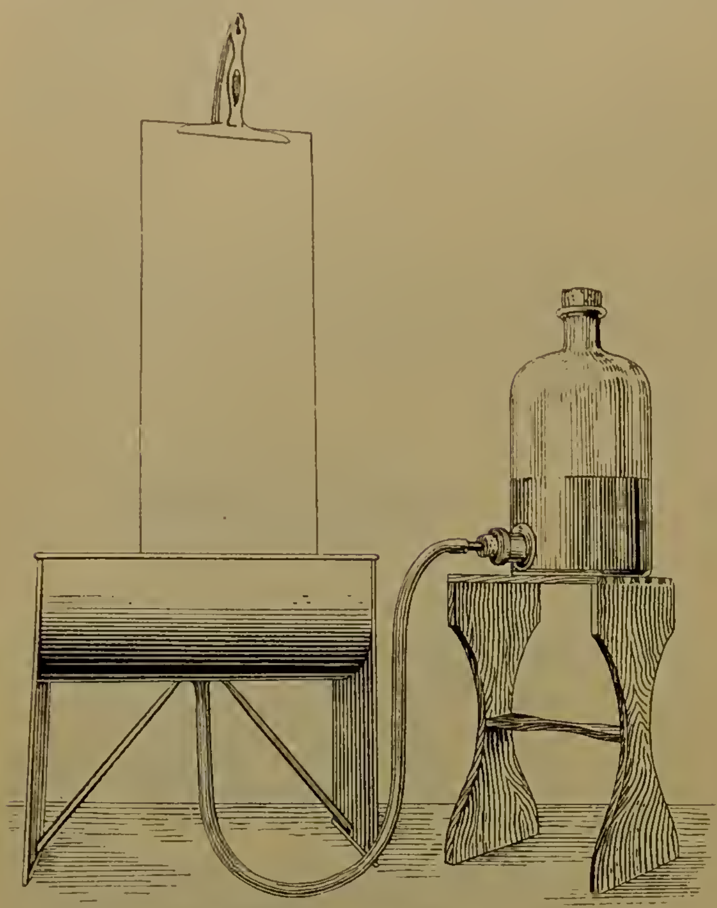


Figur 62. Gestell für Berußung des Zylinders.

Überziehung des Registrierzylinders mit Papier. Der Registrierzylinder wird mit Glacépapier (Kreidepapier) straff überzogen und dieses über einer Flamme berußt. — Um das straffe Anliegen des Papiers zu sichern, feuchtet man es auf der Hinterseite stark mit einem Badeschwamm an. Nachdem das Wasser vom Papier genügend aufgesogen worden ist, wird das noch vorhandene Wasser mittels Auflegens eines Handtuches entfernt. Jetzt wird das Papier um den Zylinder gewickelt und seine in einer Ausdehnung von etwa 2—3 cm übereinander gelegten Enden mit Gummilösung zusammengeklebt. So bleibt der Zylinder, bis das Papier ganz trocken ist; dann hat sich das durch Aufsaugen des Wassers erweiterte Papier wieder zusammengezogen und liegt jetzt ganz straff um den Zylinder.

Die Berußung des Papiers erfolgt in der Weise, daß der Zylinder mit seiner Achse auf ein Gestell gelegt (Fig. 62) und dann mittels einer unter ihn gehaltenen Flamme mit Ruß überzogen wird. Zu diesem Zwecke wird der Zylinder nicht zu schnell umgedreht und die Flamme so gehalten, daß ihr an Ruß reichster Teil den Zylinder berührt. Die Berußung soll, ohne das Papier anzubrennen, solange fortgesetzt werden, bis der ganze Zylinder etwa schwarzgrau ist. Dabei soll man gar nicht danach streben, eine ganz gleichmäßige Schwärzung zu erzielen, denn eine solche wird nur bei einer sehr starken Rußschicht erhalten, während eine verhältnismäßig dünne Rußschicht jedenfalls vorzuziehen ist, da dabei viel schärfere Kurven erhalten werden können. Zum Schluß schneidet man die Teile des Papiers fort, welche beiderseits den Zylinder möglicherweise überragen.

Fixierung der Kurven. Nach beendigtem Versuch nimmt man den Zylinder vom Registrierapparat fort, setzt ihn wieder in das Gestell, schneidet das Papier da ab, wo die beiden Enden zusammengeklebt sind, wobei man dasselbe mit der einen Hand so halten muß, daß es nicht auf den Tisch fällt. Das fortgeschnittene, auf dem Tisch liegende Papier versieht man jetzt mit allen Aufzeichnungen, die während des Versuchs selbst nicht gemacht worden sind, faßt es dann an einer der Kurzseiten mit einer Pinzette an, führt es mit der berußten Seite nach oben durch eine Wanne mit alkoholischer Harzlösung und bringt es schließlich mittels der Pinzette auf einen an der Wanne befestigten Stab zum Trocknen.



Figur 63. Wanne zur Fixierung der Kurven.

Die zur Fixierung der berußten Papiere benutzte Wanne hat das in Figur 63 dargestellte Aussehen.

Nach stattgefundener Fixierung stellt man die Flasche auf die Tischplatte, so daß die Lösung zurückströmt.

B. Registrierapparate mit unendlichem Papier.

Solche werden nur benutzt, wo Bewegungen nicht zu kleinen Umfanges während einer längeren Zeit registriert werden sollen. Hierbei kann das Papier entweder eine lange Schleife darstellen, die wie oben beschrieben berußt wird, oder auch wird das auf einen Zylinder gewickelte mehrere Meter lange Papier über zwei Walzen gezogen und dann um einen zweiten Zylinder wieder gewickelt; hier kommt nun die Tintenschreibung in Betracht.

Da jeder Fabrikant physiologischer Apparate seine eigenen Modelle von Registrierapparaten hat und jedes physiologische Institut Exemplare mehrerer verschiedener Registrierapparate besitzt, würde eine einigermaßen befriedigende detaillierte Beschreibung verschiedener Registrierapparate viel zu viel Raum beanspruchen, ohne entsprechenden Nutzen zu machen, weshalb ich darauf verzichte.

C. Photographische Registrierung.

Da die gewöhnliche photographische Technik ganz allgemein bekannt ist und in jedem Praktikum ohne Zweifel mehrere Teilnehmer mit derselben vertraut sind, dürfte es sich empfehlen, im Praktikum einige photographische Registrierungen vornehmen zu lassen. In dieser Hinsicht möchte ich in erster Linie die Aufnahme einiger Pulskurven mit der oben beschriebenen Herztonkapsel Franks bzw. der Aortadruckkurve mit dessen Spiegelmanometer (vgl. S. 107) vorschlagen.

In bezug auf die photographische Registrierung ist noch zu bemerken, daß sie verhältnismäßig kostspielig ist, weshalb sie in vielen Fällen erst dann angewendet werden soll, wenn der betreffende Vorgang unter Anwendung der Rußschreibung soweit untersucht worden ist, daß die Frage für die Untersuchung mit Hilfe der photographischen Registrierung reif ist. Hier wie auch sonst ist aber schließlich alles vom Takte des Experimentators abhängig.

Weil die Anwendung der photographischen Registrierung im physiologischen Praktikum wie in der physiologischen Vorlesung, zurzeit wenigstens, nur in einem sehr bescheidenen Umfange stattfinden kann und diese vor allem von den in dem betreffenden Institut vorhandenen Apparaten abhängig ist, verzichte ich hier, wie in bezug auf andere Registrierapparate, auf die nähere Beschreibung der bei der photographischen Registrierung benutzten.

III. Die Zeitbestimmung.

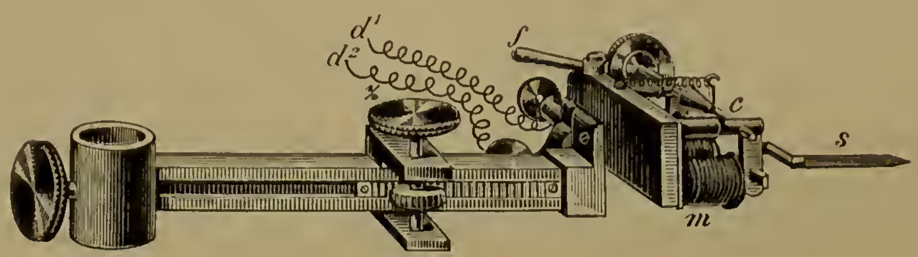
Überall, wo sich die Schreibfläche nicht mit einer für den betreffenden Zweck genügenden Konstanz bewegt, muß die Zeit in Sekunden oder Bruchteilen oder Multipeln von Sekunden am Papier angegeben werden.

Dies findet mittels eines elektrischen Signals statt, das von einer elektrisch getriebenen Stimmgabel oder von einer Uhr mit elektrischem Kontakt in Gang gesetzt wird.

Es ist selbstverständlich, daß der Registrierhebel und der Zeitschreiber genau senkrecht übereinander stehen müssen; um sich dessen zu vergewissern, verschiebt man den (stehenden) Registrierzylinder in vertikaler Richtung und verändert die Lage der Schreibspitzen, bis sie auf dieselbe vertikale Linie schreiben. Wenn dies aus dem einen oder anderen Grunde nicht tunlich ist, muß man bei der Messung und Bearbeitung der Kurven die Verschiebung gebührend berücksichtigen.

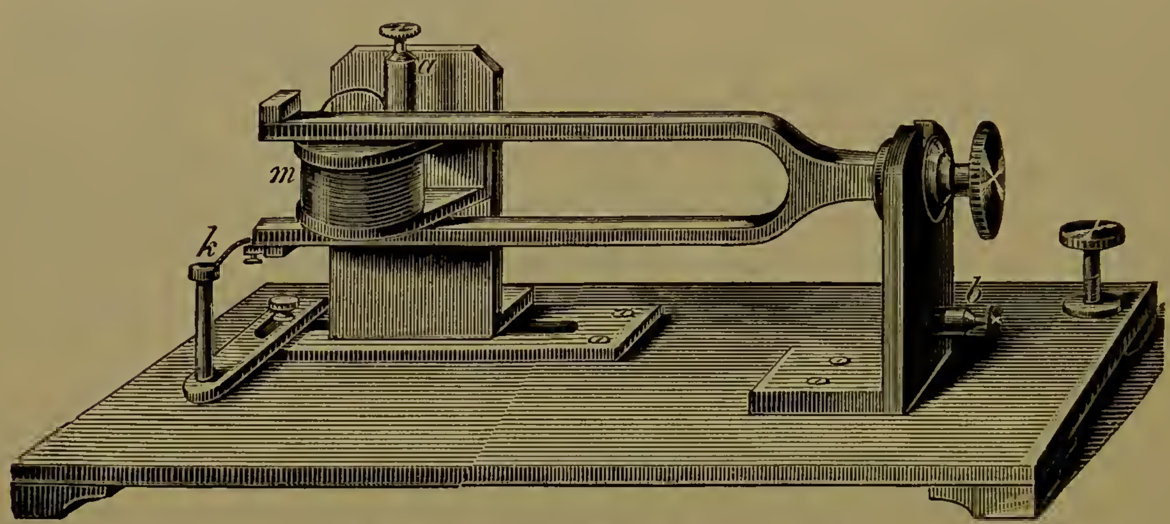
Ein elektrisches Signal (Fig. 64) besteht aus einem kleinen Elektromagneten *m*, welcher einen leicht beweglichen Anker beeinflußt, der einen mit Schreibspitze *s* versehenen Hebel trägt. Jedesmal, wenn der Strom zum Elektromagneten geschlossen wird, wird der Anker von diesem an-

gezogen; beim Öffnen des Stromes wird der Anker durch Zug einer Feder wieder zurückgezogen. Bei genügend kleiner Masse kann der Hebel selbst sehr schnell nacheinander wiederholten Stromstößen genau folgen.



Figur 64. Elektrisches Signal, nach Deprez.

Wenn man an der Seite einer Stimmgabel oder zwischen deren Zinken einen Elektromagneten anbringt (Fig. 65) und in der Leitung von diesem zum Element einen Kontakt *h* zwischen einem Platindraht und der einen Zinke der Gabel anbringt, so wird bei richtiger Einstellung dieses



Figur 65. Elektrische Stimmgabel, nach R. König.

Kontaktes der Strom bei jeder Schwingung einmal unterbrochen, und in dieser Weise können die Schwingungen der einmal angeschlagenen Gabel beliebig lange unterhalten werden. Wird nun in der Leitung noch ein elektrisches Signal eingeschaltet, so wird durch die in der Stimmgabel erfolgenden Unterbrechungen des Stromes der Anker und die Schreibspitze

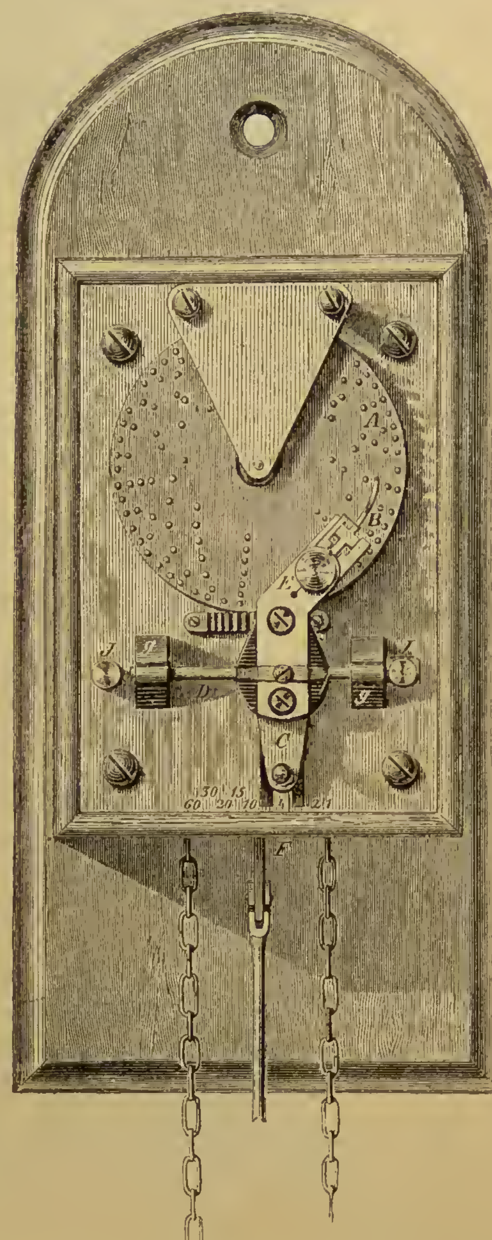


Figur 66. Stimmgabelkurve, 100 Schwingungen pro Sekunde.

des Signals in dem gleichen Rhythmus bewegt, und dadurch können die Stimmgabelschwingungen auf eine Schreibfläche übertragen werden. Man braucht also nur die innerhalb einer gewissen Strecke der Kurve fallenden Schwingungen zu zählen, um bei bekannter Schwingungszahl der Stimmgabel die absolute Zeit des registrierten Vorganges zu bestimmen (Fig. 66).

Im allgemeinen benutzt man Stimmgabeln von 100 Schwingungen in der Sekunde; je nach dem Bedarf kann man auch Stimmgabeln mit größerer oder niedrigerer Schwingungszahl anwenden.

Bei langsamer Bewegung der Schreibfläche, wo die Geschwindigkeit pro Sekunde nur wenige Millimeter beträgt, wird die Zeit unter Vermittlung des elektrischen Signals durch eine Uhr mit elektrischer Unterbrechung angegeben. Figur 67 stellt eine solche Uhr dar. Auf der Tafel *A* sind einige konzentrische Reihen von kleinen Stiftchen angebracht, und zwar so, daß in der äußersten Reihe 60, in der zweiten Reihe 30, in der dritten Reihe 20 usw. Stiftchen vorkommen. Gegen diese Stiftchen drückt der Hebel *B*, welcher längs dem Stabe *D* so verschoben werden kann, daß er mit jeder einzelnen Reihe in Verbindung gebracht wird.



Figur 67. Elektrische Uhr, nach Bowditch.

Die mit den Stiftchen ausgerüstete Tafel wird von einem Uhrwerk um ihr Zentrum bewegt; dabei kommt der Hebel *B* mit jedem, einer und derselben Reihe zugehörigen Stiftchen in Berührung.

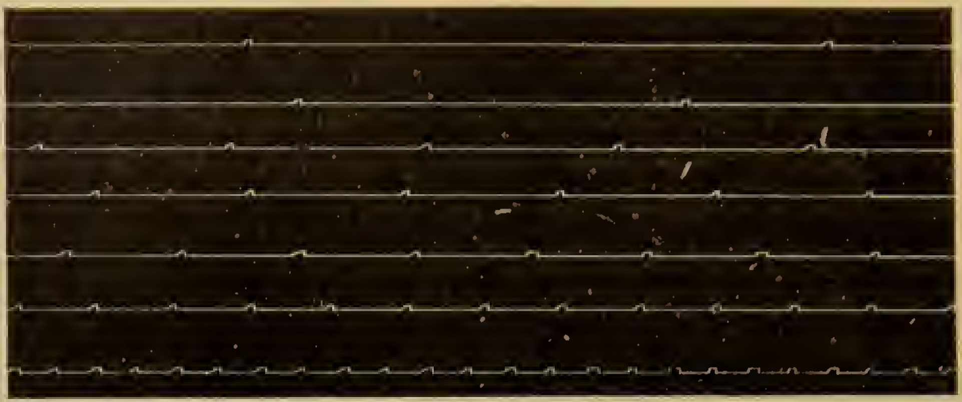
Der Strom zum Signal geht durch einen Kontakt, der durch den Hebel *B* geschlossen und geöffnet wird. Wenn derselbe bei der Drehung der Tafel gehoben wird, wird der Strom unterbrochen; wenn er in den Zwischenraum zwischen zwei Stiftchen kommt, ist der Strom geschlossen.

Diesen Schließungen und Öffnungen entsprechend gibt das Signal an der Schreibfläche die Zeit an, und je nachdem die eine oder andere Reihe der Stiftchen benutzt wird, kann also jede Sekunde oder jede 2., jede 3. usw. Sekunde signalisiert werden (vgl. Fig. 68).

In einfacherer Weise kann man die Sekunden registrieren unter Anwendung einer Pendeluhr, deren Pendel bei jeder Bewegung einen selbstschließenden elektrischen Kontakt öffnet.

Endlich kann man auch das Metronom dazu benutzen, den Strom zu einem elektrischen Signal zu unterbrechen. Zu diesem Zwecke befestigt man am Pendel desselben (Fig. 69) einen Platindraht und läßt diesen bei den Schwingungen des Pendels in ein Quecksilbernäpfchen hineintauchen. Dieses wird mit dem einen Leitungsdraht zum Signal verbunden; die Fortsetzung der Leitung steht mit der Achse des Pendels in leitender Verbindung.

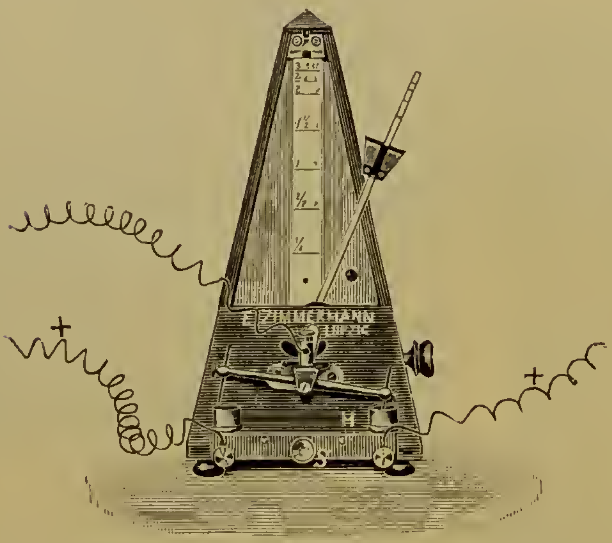
Durch Verschiebung des Laufgewichtes am Pendel kann der Rhythmus der Stromunterbrechungen innerhalb gewisser Grenzen variiert werden. Die am



Figur 68. Sekundenmarkierung. Die unterste Linie jede Sekunde, die oberste jede 15. Sekunde.

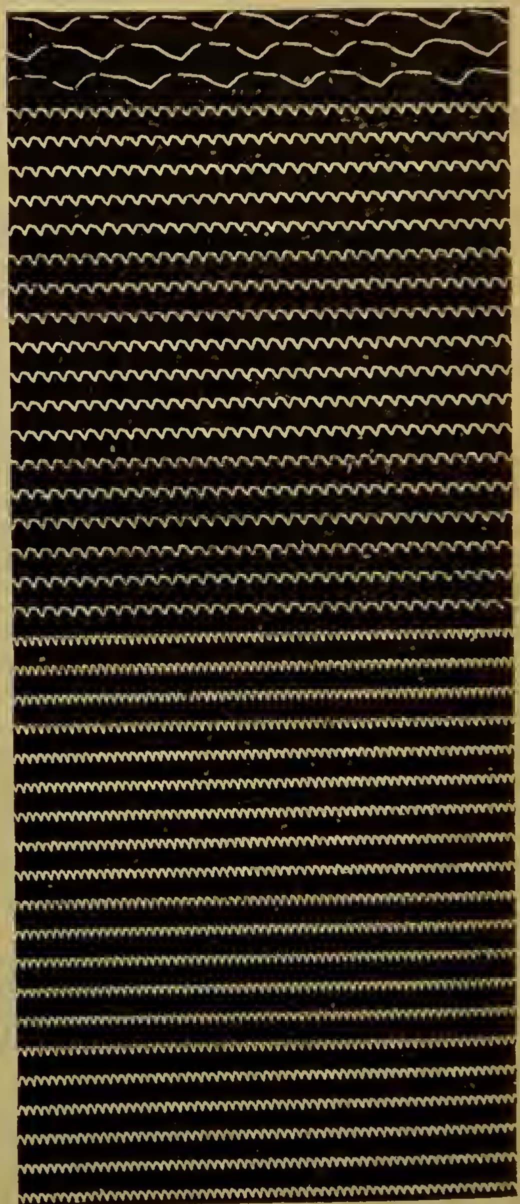
Pendel angebrachte Skala gibt die Zahl der Schwingungen pro Minute an. Jedenfalls sind diese Angaben durch Vergleich mit einer genau gehenden Uhr zu kontrollieren.

Zur Prüfung des Ganges eines Registrierapparates registriert man unter An-



Figur 69. Stromunterbrechendes Metronom.

wendung des elektrischen Signals die Schwingungen einer Stimmgabel, indem man allmählich, und ohne die Bewegung des Zylinders zu unterbrechen, diesen von oben nach unten verschiebt oder sich verschieben läßt, wenn der Zylinder selbsttätig gesenkt werden kann. Man fährt damit fort, bis der Zylinder mit Stimmgabelkurven vollgeschrieben ist.



Figur 70. Prüfung des Ganges eines Registrierapparates. Schwingungszahl der Stimmgabel 50 in der Sekunde. Die Geschwindigkeit des Zylinders verhält sich bei den einzelnen Abschnitten wie 50 : 100 : 500.

Nach Fixierung der Kurve zieht man zwei vertikale Linien in einem Abstand von 10 cm durch die ganze Breite des Papiers und zählt die Zahl der Schwingungen in jeder Reihe aus. Nur wenn diese überall dieselbe ist, darf man es wagen, den Apparat ohne direkte Zeitschreibung zu feineren Zeitbestimmungen zu benutzen (vgl. Fig. 70).

Schließlich sei in bezug auf die graphische Methode überhaupt noch bemerkt, daß man bei der Registrierung irgendeines Vorganges sich immer darüber klar werden muß, was man damit eigentlich beabsichtigt. In vielen Fällen kann man ja mit äußerst einfachen Apparaten alles erhalten, was man will; wenn es z. B. gilt nachzuweisen, daß zwischen dem Augenblick der Reizung und dem Beginn der Muskelkontraktion eine meßbare Zeit vergeht, genügt jeder Hebel. Zur exakten Bestimmung dieser Zeit müssen aber schon wesentlich feinere Vorrichtungen benutzt werden. Desgleichen kann man mit jedem Quecksilbermanometer einen annähernd richtigen Aufschluß über den während einer gewissen Periode stattfindenden mittleren Blutdruck gewinnen; stellt man sich aber die Aufgabe, die bei jedem Herzschlage auftretenden Druckveränderungen in den Arterien in ihren Einzelheiten zu verfolgen, so können nur die allerbesten Instrumente dazu benutzt werden, usw. Da man an einen Vorlesungsversuch wie an einen Versuch in dem Praktikum ja die Anforderung zu stellen hat, daß hierbei nicht allein gezeigt werden soll, wie man den betreffenden Gegenstand experimentell und operativ behandelt, sondern auch die Resultate, insofern sie hier zu besprechen sind, dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft gemäß richtig sein sollen, darf man also nur solche Apparate benutzen, welche tatsächlich richtige Resultate geben. Es ist selbstverständlich, daß man bei derartigen Versuchen ja nicht die elegantesten oder bequemsten Instrumente braucht, aber andererseits müssen diese Instrumente zuverlässig sein. Im Mangel an solchen sollte man lieber eine Aufgabe ausschließen, als sie mit ungeeigneten Mitteln behandeln zu lassen. Und ganz besonders bei der Besprechung der graphischen Methode, wo der Anfänger so leicht dazu verleitet wird, in einer Kurve, insbesondere, wenn sie technisch schön gelungen ist, ein „wissenschaftliches Resultat" zu erblicken, ist es mir angezeigt erschienen, auf diese Umstände die Aufmerksamkeit zu lenken.

VIERTES KAPITEL.

Die Elementarorganismen.

Das Studium der Elementarorganismen wird wohl in den meisten Fällen nur einen ganz bescheidenen Platz in einem physiologischen Praktikum für Mediziner finden können, und dasselbe wird sich auch dann größtenteils auf die reine Beobachtung im Mikroskop beschränken müssen. Auch hebt Pütter hervor, daß nur eine recht geringe Anzahl von Lebensvorgängen der Protisten sich leicht einem größeren Auditorium demonstrieren läßt, sowie daß die Zahl der Versuche, die sich für praktische Übungen mit Anfängern eignen, fast noch geringer ist, wenn man an der Forderung festhält, daß der Student im Praktikum selbst den ganzen Versuch ausführen soll.

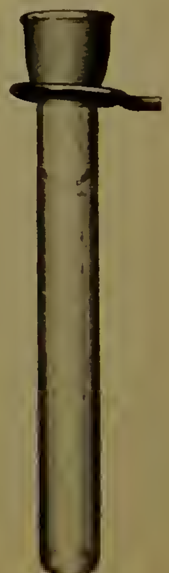
Ich werde mich daher hier nur auf die Beschreibung einiger weniger einfacher Versuche mit dem Paramaecium beschränken.

I. Kultur von Paramaecium.

Man bekommt eine reiche Kultur von Paramaecium dadurch, daß man eine Handvoll Heu in ein Gefäß von 2—3 l Inhalt bringt und dasselbe mit Wasser von einem Teich füllt. Nach ein bis zwei Wochen hat sich auf der Oberfläche des Wassers eine an Bakterien reiche Schicht gebildet, dazu aber noch überaus zahlreiche Individuen von Colpidium entwickelt. Nach einiger Zeit treten daselbst auch Paramaecien in großer Menge auf.



Figur 71. Pipette.



Figur 72. Geo- und Thigmotaxis beim Paramaecium.

Um Paramaecien stets vorrätig zu haben, stellt man etwa alle 4—6 Wochen ein neues Kulturglas auf und fügt etwas paramaecienhaltige Flüssigkeit hinzu, nachdem in 3 bis 5 Tagen eine genügende Entwicklung von Bakterien stattgefunden hat. Entnimmt man aus einem Kulturglas auf einmal ein größeres Quantum Flüssigkeit, um große Mengen von Tieren zu erhalten, so ist es zweckmäßig, den Verlust

durch Wasser zu ersetzen. Zwei oder drei Tage nach einer solchen Auffrischung ist die Kultur wieder stark genug, um einen gleichen Aderlaß zu vertragen. Wenn die oberflächliche Schicht der Kultur sauer geworden ist, soll sie mit Natriumkarbonat wieder neutralisiert werden (Pütter).

Um aus der Kulturflüssigkeit Proben von Paramaecium zur Untersuchung zu entnehmen, benutzt man zweckmäßig eine kleine kapillare Pipette (Fig. 71), welche etwa tangential zu der Flüssigkeitsoberfläche gehalten wird, so daß die an dieser sich ansammelnden Paramaecien in die Kapillare hineinkommen. Sie werden dann entweder sogleich auf ein Objektglas gebracht und, mit Deckgläschen bedeckt, unmittelbar im Mikroskop untersucht, oder aus der Pipette in ein plattes Gläschen (vgl. Fig. 72), wo sie weiter beobachtet werden können, übertragen.

II. Geotaxis, Thigmotaxis und Thermotaxis.

In diesem Gläschen steigen die Paramaecien wegen ihrer negativen Geotaxis nach oben, und binnen einer kurzen Zeit machen sie sich als eine sahneähnliche Ansammlung am oberen Ende des Gläschens erkenntlich.

Mittels der kleinen Pipette kann man dieses Häutchen in ein Glas mit Wasserleitungswasser übertragen und die Kultur also reinigen.

Hierdurch hat man sich also von der negativen Geotaxis der Paramaecien überzeugen können. Es konnte indessen der Fall sein, daß die Ansammlung der Paramaecien an der Oberfläche der Flüssigkeit vom Luftsauerstoff bedingt wäre. Daß die betreffende Bewegung dennoch eine geotaktische Erscheinung darstellt, folgt daraus, daß sich die Paramaecien, wenn das Gläschen in eine Schale mit Wasserleitungswasser mit der Öffnung nach unten gestellt wird, nach dem oberen, geschlossenen Ende desselben begeben.

Dadurch ist also die Geotaxis deutlich demonstriert worden.

Die Neigung der Paramaecien, sich an feste Körper anzuhaften, läßt sich im mikroskopischen Präparat dadurch studieren, daß sie, sobald sie mit einer Detritusmasse, einem Stückchen Filtrierpapier und dgl. in Berührung kommen, dort stehen bleiben, obgleich sie sonst im Präparat ohne Ruhe ununterbrochen hin- und herschwimmen.

Eine thigmotaktische Einwirkung liegt wohl auch der in Figur 72 abgebildeten Erscheinung zugrunde; bei ihrer Wanderung nach oben infolge der Geotaxis haben die Paramaecien nicht die Oberfläche der Flüssigkeit erreicht, sondern sind auf einer kleinen Strecke davon stehen geblieben und bilden dort einen Saum mit nach oben konvexer Oberfläche. Die mikroskopische Untersuchung des Präparates ergab, daß hier Detritusmassen, an welche sich die Paramaecien festgesetzt hatten, vorhanden waren.

Bei der Erwärmung ziehen sich die Paramaecien von der erwärmten Stelle zu einer kälteren, wenn die Temperatur dort etwa 24 ^{0} C. übersteigt.

Dies läßt sich an den oben im Glasröhrchen gesammelten Paramaecien äußerst leicht nachweisen. Wartet man ruhig, bis der Streifen von Paramaecien ganz deutlich und scharf ausgeprägt ist, und dann gerade diese Stelle des Gläschens zwischen zwei Fingern erfaßt und also erwärmt, so löst sich die Ansammlung der Paramaecien fast augenblicklich auf, und die Tierchen mischen sich diffus in die Flüssigkeit.

In Analogie damit kann man die Ansammlung der Paramaecien am oberen Ende des Gläschens dadurch nicht unwesentlich beschleunigen, daß man von unten beginnend und allmählich nach oben gehend das Gläschen in der soeben erwähnten Weise erwärmt. Hier unterstützen sich die negative Thermotaxis und die negative Geotaxis gegenseitig.

III. Chemotaxis.

Zur Beobachtung der Chemotaxis bei den Paramaecien bringt man an den Rand des Deckgläschens bei einem einfachen mikroskopischen Präparat von Paramaecien einen Tropfen einer Methylenblaulösung. Dieser zieht sich allmählich unter das Deckgläschen, und wenn dies nicht der Fall wäre, kann man mittels eines am entgegengesetzten Rande des Deckgläschens angebrachten Filtrierpapierstreifens etwas von der Farbstofflösung unter das Deckgläschen saugen.

Nachdem die Flüssigkeitsströmung an sich und die dadurch bewirkten passiven Bewegungen der Paramaecien aufgehört haben, kann man wahrnehmen, wie sich die Paramaecien vor der Farbstofflösung zurückziehen. Wenn sie bei ihren Bewegungen in die Nähe desselben kommen, machen sie sofort kehrt und entziehen sich dem schädlichen Einfluß der Lösung.

Dieser und andere Versuche über die Chemotaxis können auch in der Weise ausgeführt werden, daß man das Deckgläschen durch Splitter eines zerbrochenen Deckgläschens unterstützt, den Raum zwischen Deckgläschen und Objektglas mit Paramaecienkultur füllt und in diesen Raum Kapillarröhrchen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit bringt. Hierzu benutzt man entweder ganz kurze, an beiden Enden offene Röhrchen, die dann in ihrer ganzen Länge in der Kulturflüssigkeit eingeschlossen sind, oder auch längere Röhrchen, welche nach ihrer Füllung an dem einen Ende zugeschmolzen worden sind.

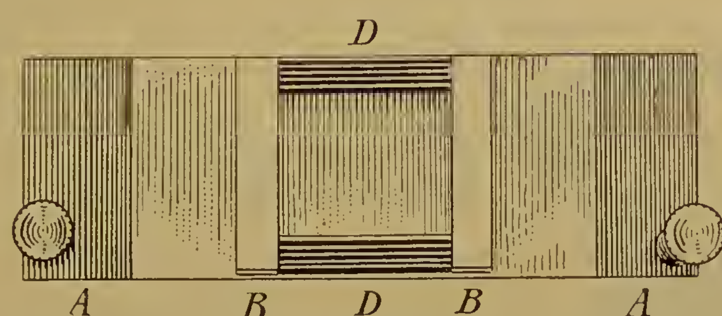
Zum Studium der chemotaktischen Erscheinungen beim Paramaecium, wenn dieses sich in Wasserleitungswasser befindet, seien noch empfohlen 0,25 bis 0,50 prozentige Kochsalzlösung, 0,02 prozentige Essigsäure, Kohlensäure als Gasbläschen usw.

Durch eine 0,25 prozentige Methylenblaulösung erfolgt nacheinander an verschiedenen Stellen des Körpers eine langsame und regelmäßige Entladung von Trichocysten, d. h. stäbchenförmigen Gebilden im Ektosark, die senkrecht zur Oberfläche des Tieres gestellt sind. Nach der Entladung der

Trichocysten scheint das Tier von einer Zone sternförmig ausstrahlender Fasern umgeben zu sein. Die Entladung der Trichocysten läßt sich am schönsten durch eine gesättigte Lösung von Pikrinsäure zeigen; dabei ist es zweckmäßig, zum Färben der Trichocysten der Lösung ein klein wenig Anilinblau zuzusetzen (Jennings).

IV. Galvanotaxis.

Um die Einwirkung eines elektrischen Stromes auf die Bewegungen der Paramaecien zu untersuchen, benutzt man ein Tonleistenkästchen etwa von dem in Figur 73 dargestellten Aussehen. Auf einem gewöhnlichen Objektträger werden einander gegenüber in der Längsrichtung des Trägers zwei Leistchen aus Ebonit *D, D* und senkrecht zu diesen in der Querrichtung des Trägers zwei gleich große Leistchen aus porösem gebrannten Ton *B, B* festgekittet und dadurch ein quadratischer Raum umgrenzt. Nach



Figur 73. Kammer für elektrische Reizung des Paramaeciums.

außen von den Tonleistchen sind in einer Entfernung von einigen Millimetern von ihnen je ein amalgamiertes und mit einer Klemmschraube versehenes Zinkblech *A, A* aufgekittet.

Auf das Zinkblech wird eine mit konzentrierter Zinksulfatlösung zu kittartiger Konsistenz geknetete Wurst aus Kaolin (Porzellanton) gebracht, und zwischen dieser und der Leiste aus gebranntem Ton eine ähnliche, aber mit 0,7 prozentiger Kochsalzlösung geknetete Wurst angelegt, und zwar so, daß letztere sowohl die Zinksulfatwurst als die Tonleiste, nicht aber das Zinkblech berührt (unpolarisierbare Elektrode; vgl. Kap. XIII).

Von der ziemlich starken elektrischen Batterie[1]) wird der Strom unter Einschaltung eines Stromwenders (*W*, Fig. 74; vgl. S. 39) und eines Stromunterbrechers zu den beiden an den Zinkblechen befestigten Klemmschrauben *P, P* geleitet.

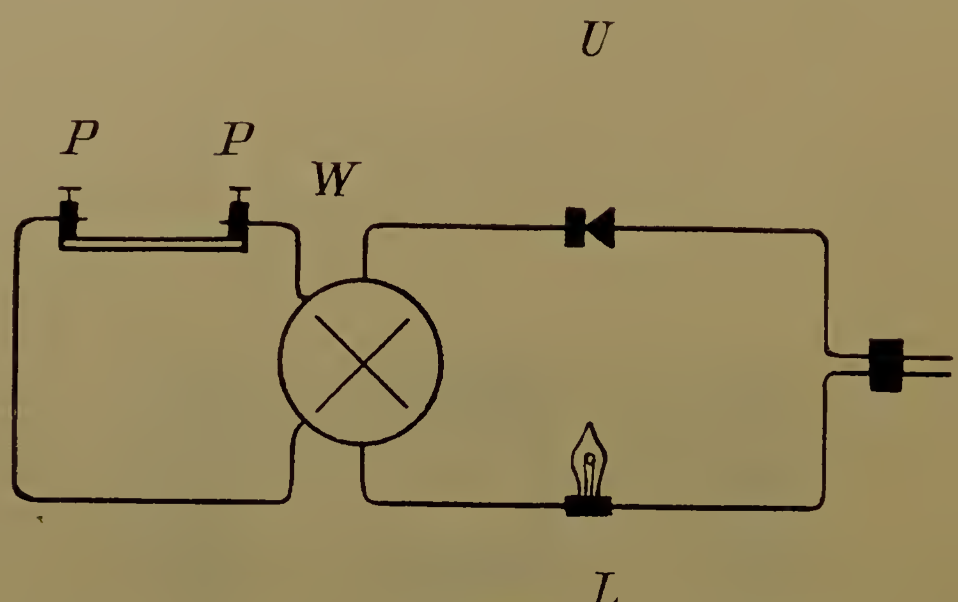
Die Kammer wird mit paramaecienhaltiger Flüssigkeit gefüllt und mit einem Deckgläschen zugedeckt. Da die Beobachtung am besten bei

[1]) Hierzu eignet sich der Starkstrom mit Einschaltung von einem genügenden Lampenwiderstand (*L* Fig. 74) vorzüglich.

kleiner Vergrößerung stattfindet, kann das Deckgläschen auch fortgelassen werden.

Bei offenem Stromkreis schwimmen die Paramaecien in allen Richtungen umher, oder sie setzen sich an größere, im Präparat vorhandene Detritusmassen fest. Wird nun der Strom geschlossen, so fangen sie sogleich an, sich nach der Anode zu bewegen, und an dieser sammeln sich bald sämtliche Paramaecien im Präparat.

Wird nun der Strom geöffnet, so werden die Paramaecien augenblicklich frei und beginnen sich wieder in allen Richtungen zu bewegen.



Figur 74. Schema zur elektrischen Reizung des Paramaeciums.

Beim aufs neue erfolgenden Stromschluß in umgekehrter Richtung beeilen sich die Paramaecien wieder, den positiven Pol zu erreichen.

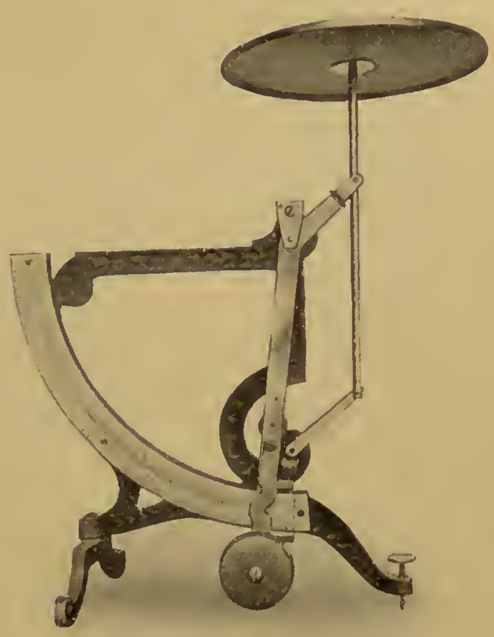
Am schönsten stellt sich indessen die Einwirkung des konstanten elektrischen Stromes auf die Paramaecien dar, wenn man, nachdem der Strom genügend lange geschlossen gewesen ist und also die Paramaecien in großer Anzahl sich am positiven Pol gesammelt haben, den Strom schnell wendet. Dann schießen von der Gegend des früheren positiven Poles Scharen von Paramaecien hervor, um im schnellsten Lauf den jetzigen positiven Pol zu erreichen.

FÜNFTES KAPITEL.

Die Physiologie des Stoffwechsels.

Weder für die Vorlesung noch für das Praktikum eignet sich die Physiologie des Stoffwechsels zu Demonstration und Experiment, denn jeder Stoffwechselversuch fordert im allgemeinen eine Zeit von mehreren Tagen und eine Menge von Analysen, die in die Vorlesung nicht gehören und die man den Praktikanten kaum zumuten kann, auch wenn die Einrichtung des Instituts dies überhaupt gestatten würde, was aber nur in Ausnahmefällen zutreffen dürfte.

Andererseits bildet aber die Physiologie des Stoffwechsels und der Ernährung auch für den praktischen Arzt ein so wichtiges Gebiet, daß man sich nur ungern dazu entschließt, dasselbe ganz aus dem Praktikum zu streichen.



Figur 75. Briefwage.

Nach vielerlei Überlegungen habe ich deswegen folgende Versuche oder richtiger Berechnungen aufgenommen, um vor allem den Studierenden eine mehr lebendige Kenntnis von der Zusammensetzung der menschlichen Kost zu geben, als sie aus den nackten Tabellen über die mittlere Zusammensetzung der Nahrungsmittel erhalten können. Und übrigens werden nur wenig Studierende diese Tabellen so eingehend studieren, daß ihnen der Gehalt der einzelnen Nahrungsmittel an Eiweiß, Fett und Kohlehydraten geläufig wäre.

Als Versuch für das Praktikum könnte man den Studierenden eventuell vorschlagen, während einiger Zeit — 4—7 Tage — die von ihnen genossene Kost zu wiegen und an der Hand der zugänglichen Mittelzahlen für die chemische Zusammensetzung der Nahrungsmittel die durchschnittliche Zufuhr von Eiweiß, Fett und Kohlehydraten zu berechnen.

Die Wiegung der Speisen könnte mittels einer gewöhnlichen Briefwage von 1 kg Tragkraft unschwer ausgeführt werden (Fig. 75). Mittels dieser Wage würde man bei jeder Speise bestimmen: 1. das Gewicht des Tellers, 2. das Gewicht der einzelnen Bestandteile jedes Gerichtes, insofern sie sich einzeln bestimmen lassen. Das Getränk würde nur gemessen, nicht gewogen werden.

Hier begegnen wir indessen dem nicht ganz geringen Übelstand, daß die Studierenden zum großen Teil ihre Mahlzeiten in Restaurationen genießen, wo das Wiegen der Speisen vielleicht unangenehm sein könnte und jedenfalls viele von der Teilnahme an diesen Versuchen abhalten würde.

Leichter ginge es natürlich bei denjenigen Studierenden, welche zu Hause oder in einer Pension essen.

Es bleibt aber noch die größte Schwierigkeit zurück. Man kann allerdings nach den Mittelzahlen der vorliegenden Analysen die chemische Zusammensetzung der Rohwaren mit einer gewissen Genauigkeit berechnen, obgleich auch hier nicht selten ganz erhebliche Fehler entstehen können. Die Rohwaren werden jedoch nicht in natürlichem Zustand, sondern erst nach den durch das Kochen oder das Braten bewirkten Veränderungen genossen. Dabei verändert sich auch das Gewicht der Nahrungsmittel, indem einige Wasser abgeben, andere wieder Wasser aufnehmen.

Bei der Berechnung der Kost muß man also auch diese Gewichtsveränderungen berücksichtigen; da nun diese lange nicht konstant sind, sondern je nach der Art und Weise der Zubereitung wechseln, entsteht ein Fehler, der zuweilen ganz beträchtlich sein kann.

Hierzu kommt schließlich noch, daß in vielen Gerichten verschiedene Nahrungsmittel gemischt sind; die chemische Zusammensetzung dieser Gerichte läßt sich daher nur in dem Falle berechnen, daß man die Gelegenheit hat, vor der Zubereitung die einzelnen Ingredienzien jedes für sich zu wiegen.

Das Endresultat eines solchen Versuches würde daher nur in ganz allgemeinen Zügen die Zusammensetzung der genossenen Kost darstellen, und man kann sich fragen, ob die große darauf verwendete Mühe sich wirklich lohnen würde.

Daher werden direkte Versuche über die Ernährung eines speziellen Individuums im Praktikum kaum vorkommen können.

Eine andere Art, die Studierenden mit den Aufgaben der praktischen Nahrungslehre vertraut zu machen und sie dafür zu interessieren, liegt in folgenden Aufgaben, welche sich ohne jede Schwierigkeit lösen lassen.

Man wählt den Speiseetat eines Krankenhauses, eines Gefängnisses oder einer anderen öffentlichen Anstalt und läßt die Studierenden daraus die mittlere Zufuhr von Eiweiß, Fett oder Kohlehydraten berechnen, wie diese Zufuhr von Tag zu Tag variiert und wie sie während der einzelnen Tage auf die einzelnen Mahlzeiten verteilt ist.

Durch dann zwischen dem Lehrer und den Teilnehmern am Praktikum stattzufindendes Gespräch über die so gewonnenen Resultate können mehrere nahrungsphysiologische und -hygienische Fragen erörtert und dem Verständnis näher gebracht werden.

Damit die betreffenden Berechnungen nicht zuviel Zeit in Anspruch nehmen, könnte ja ein und dasselbe Kostmaß auf mehrere Teilnehmer verteilt werden, z. B. so, daß bei einem auf eine Woche berechneten

Etat der eine das Essen am Sonntag und Montag, der andere das am Dienstag und Mittwoch, der dritte das am Donnerstag, Freitag und Sonnabend zu berechnen hätte. Die schließliche Zusammenstellung würde von allen dreien gemeinschaftlich ausgeführt werden.

Man könnte auch den Praktikanten die Aufgabe stellen, einen Speiseetat nach einem bestimmten Kostmaß, z. B. mit durchschnittlich 100 g Eiweiß, 100 g Fett und 450 g Kohlehydraten, aufzustellen. Das zu lösende Problem würde dadurch vereinfacht werden können, daß der Lehrer diejenigen Rohwaren angeben würde, die bei diesem Etat benutzt werden dürften, und daß er die Verteilung des Essens auf die einzelnen Mahlzeiten in großen Zügen feststellte. Dabei soll außerdem noch bemerkt werden, daß die Kost nicht jeden Tag gerade so viel Eiweiß, Fett und Kohlehydrate enthalten muß, wie im Normalkostmaß vorgeschrieben ist, sondern daß nur die durchschnittliche Zufuhr für eine Beköstigungsperiode (1 Woche) dem gegebenen Kostmaß entsprechen soll.

Auch soll der Lehrer nicht vergessen, den Praktikanten darauf aufmerksam zu machen, daß die Kost eine ausreichende Umwechselung darbieten muß, sowie daß man selbst bei dem allerbilligsten Speiseetat nicht unterlassen darf, der Schmackhaftigkeit die gebührende Berücksichtigung zu gewähren.

Bei der Lösung dieser Aufgabe können 2—3 Teilnehmer am Praktikum zusammen arbeiten und zwecks der schließlichen Berechnung des Etats das Problem untereinander verteilen. Die vor dem ganzen Praktikum erfolgende Besprechung der vorgeschlagenen Speiseordnungen wird in hohem Grade dazu beitragen können, die an die Kost zu stellenden Forderungen zu beleuchten.

SECHSTES KAPITEL.

Das Blut.

Wenn es gilt, beim Menschen Blutproben zur Untersuchung zu entnehmen, muß man, zur Vermeidung einer eventuellen Infektion, die betreffende Hautstelle erst mit Seife und Wasser sorgfältig waschen und dann mit Alkohol oder Alkohol und Äther in gleichen Teilen abreiben.

Die Probeentnahme geschieht durch Einstich in die Haut. Zu diesem Zwecke kann man die abgebrochene obere Hälfte einer gewöhnlichen Schreibfeder aus Stahl benutzen, die man über der Flamme erwärmt, ohne daß sie jedoch zu heiß wird. Diese einfache Art, Blutproben zu entnehmen,

bietet den Vorteil dar, daß man immer ein ganz unberührtes Instrument zu seiner Verfügung hat.

Unter den speziell für die Blutentnahme konstruierten Instrumenten sei hier nur die Nadel von Francke (Fig. 76) erwähnt. Sie besteht aus einer Hülse *H* aus Metall, auf welche ein Ansatzstück *A* mehr oder weniger weit angeschraubt werden kann; in der Hülse befindet sich eine Nadel mit der Spitze bei *Sc* und dem Knopf bei *K*. Durch Zug auf *K* wird das Messerchen unter Spannung einer in der Hülse *H* befindlichen Feder zurückgezogen und mit Hilfe des Sperrhahns *Sp* in dieser Stellung festgehalten. Zur Blutentziehung setzt man das Instrument mit dem Ansatzstück voraus auf die Haut auf. Bei Druck auf den Sperrhahn schleudert die Feder das Messerchen gegen die Haut, und dieses dringt, je nach der Einstellung des Ansatzstückes, mehr oder weniger tief ein.



Figur 76. Nadel zur Entnahme von Blutproben, nach Francke.

Als Stellen, von welchen Blut beim Menschen zur Hämoglobinbestimmung bzw. Zählung der Blutkörperchen im allgemeinen entzogen wird, sind vor allem zu erwähnen die Kuppe des vierten Fingers der linken Hand (bei Rechtshändern), weil sie eine dünnere Haut als die bei der Arbeit mehr benutzte rechte Hand hat, und das Ohrläppchen; um das Haften von Blutkörperchen an den daselbst befindlichen Haaren zu vermeiden, soll man bei genaueren Bestimmungen die Haut zuerst rasieren.

Bei Säugetieren kann man aus den geöffneten Arterien und Venen beliebig große Blutmengen zur Untersuchung bekommen. Wenn es aber gilt, nur ganz kleine Blutproben zu entnehmen, benutzt man die Ohren, die Lippen, die Leistengegend und die Schwanzwurzel. Die zu benutzende Stelle soll zuerst sorgfältig rasiert werden; der Schnitt in die Haut muß wegen des geringeren Blutgehaltes meist beträchtlich größer und tiefer als beim Menschen gemacht werden.

I. Das Hämoglobin.

A. Hämoglobinkristalle.

Um das Hämoglobin in Kristallform zu bringen, eignet sich das Meerschweinchen- oder das Rattenblut am besten, weil das Hämoglobin in diesen Blutarten am schwersten im Wasser löslich ist.

Man schüttelt in einem Reagensglas einige Tropfen defibrinierten Blutes mit dem mehrfachen Volumen Essigäther, bringt mittels einer feinen Pipette einen Tropfen der sich am Boden des Glases unter dem Essigäther ansammelnden Blutlösung auf einen Objektträger und deckt mit einem Deckglas zu.

Sollen die Kristalle von Verunreinigungen möglichst befreit sein, so bringt man einige Kubikzentimeter Blut in ein enges Reagensglas, setzt ein mehrfaches Volumen Essigäther zu, schüttelt kräftig durch, stellt das Reagensglas samt Inhalt aufrecht und wartet, bis sich drei Schichten gebildet haben, eine untere aus einer klaren Oxyhämoglobinlösung, eine mittlere trübe, emulsionsartige und eine obere, hauptsächlich den Essigäther enthaltend. Mittels einer feinen Pipette saugt man die klare Lösung aus und bringt sie zur Kristallisation auf ein Objektglas (Bürker).

Auch durch Zusatz von destilliertem Wasser zum defibrinierten Rattenblut erhält man eine leicht kristallisierende Lösung; man braucht von ihr nur einen Tropfen durch freiwillige Verdunstung am Rande etwas eintrocknen zu lassen und dann ein Deckgläschen aufzulegen.

Andere Blutarten, auch das Blut des Menschen, bringt man zur Kristallisation dadurch, daß man in der auf dem Objektträger befindlichen, durch Zusatz von destilliertem Wasser zum Blute erhaltenen Lösung des Oxyhämoglobins zwei dünne Seidenfäden in einigem Abstande parallel zueinander einlegt und auf diese ein Deckgläschen auflegt; an oder in der Nähe der Fäden beginnt bald die Kristallisation.

Um Häminkristalle zu bekommen, zerreibt man mit einem Glasstab ein Körnchen getrockneten Blutes auf einem Objektträger mit einem noch kleineren Körnchen Kochsalz, läßt einen Tropfen Eisessig auf das Pulver fallen, bedeckt dies, bevor der Eisessig zerfließt, mit einem Deckglas, füllt vollends mit Eisessig unter dem Deckglas und erhitzt den Objektträger, bis der Eisessig Blasen wirft. Dann ersetzt man den unter dem Deckglas verdunsteten Eisessig durch neuen und bringt das Präparat unter das Mikroskop. Sollten sich noch keine Kristalle gebildet haben, erhitzt man nochmals bis zum Kochen des Eisessigs usw.

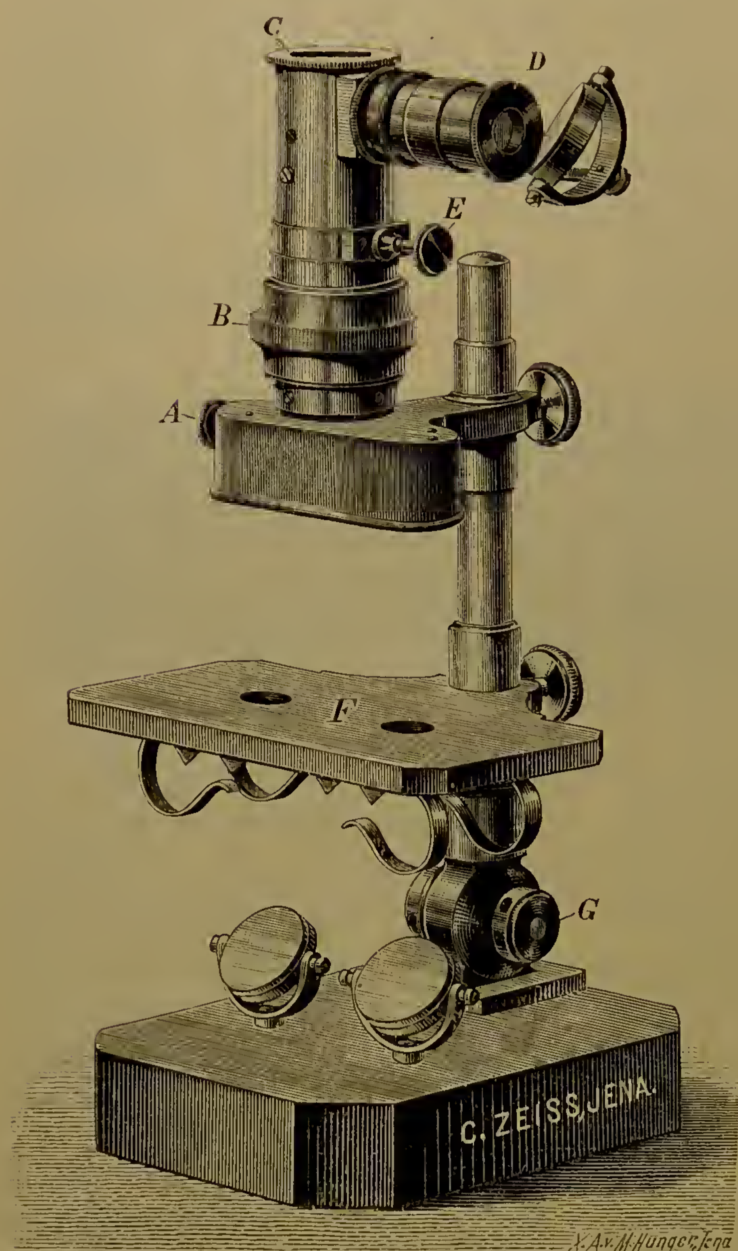
B. Das Absorptionsspektrum des Hämoglobins.

Die spektroskopische Beobachtung der Absorptionsstreifen des Hämoglobins und seiner Derivate soll, wenn möglich, immer in der Weise stattfinden, daß das Absorptionsspektrum der Oxyhämoglobinlösung unmittelbar neben dem der Lösung des zu untersuchenden Derivates entworfen wird. Wenn nicht diese Bedingung erfüllt wird, kann man ja ohne weitere Schwierigkeit das Absorptionsspektrum eines beliebigen Hämoglobinderivates dadurch beobachten, daß man in den Weg der Lichtstrahlen in einem beliebigen Spektroskop vor dem Prisma die betreffende Lösung in einen Trog bringt.

Im projizierten Spektrum kann man in gleicher Weise die Absorptionsstreifen projizieren.

Zum Vergleich zweier verschiedener Lösungen dienen die von Pulfrich und von Bürker angegebenen Spektroskope.

Im Spektroskop von Pulfrich (Fig. 77) sind auf einem gemeinsamen Stativ ein Tisch und das Spektroskop selbst angebracht, Der Tisch F hat zwei Löcher, durch welche Licht von unten mittels je eines Spiegels geworfen wird. In die Löcher werden die Absorptionströgchen gebracht.



Figur 77. Vergleichsspektroskop, nach Pulfrich.

Aus dem Quersehnitt, Figur 78, ist ersichtlich, daß die durch die Tröge G_1, G_2 hindurchgegangenen Strahlen mittels der Prismen R_1, R_2 durch den Spalt S in den Körper des Instrumentes geworfen und dort durch das Amicische Prisma zerlegt werden.

Gleiehzeitig gelangen ins Auge Strahlen, welche durch den Spiegel D auf die obere Fläche des Prismas fallen und von dort in das Auge gelangen, so daß eine Skala der Wellenlängen über das Spektrum projiziert wird.

Die Einstellung des Apparates findet in der Weise statt, daß man das Licht einer Natriumflamme in das Spektroskop wirft und durch Drehen der Schraube E den Teilstrich der Skala 589, welche der D-Linie ($\lambda = 589$ mm) entspricht, einstellt.

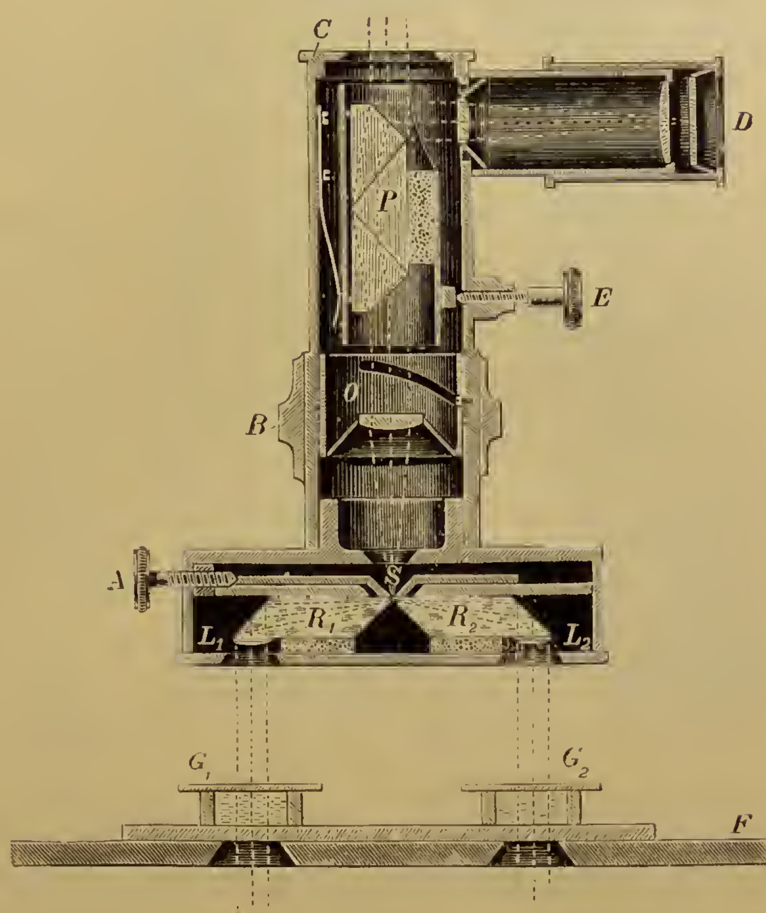
Die Spaltbreite wird durch die Schraube A geregelt, und durch Drehen an dem geriefelten Ringe B stellt man die Okularlinse O (Fig. 78) auf größte Deutlichkeit der Fraunhoferschen Linien.

Die Resultate werden auf Millimeterpapier, welches die am Spektroskop angebrachte Skala wiedergibt, eingetragen.

Bürkers Vergleichsspektroskop ist von folgendem Bau (Fig. 79).

An einem geradsiehtigen Handspektroskop ist vor dem Kollimatorspalt der Glaskörper K dauernd so angebraeht, daß die dem Spalt zugekehrte und ihm möglichst genäherte Kante des Körpers senkrecht zum Spalt steht

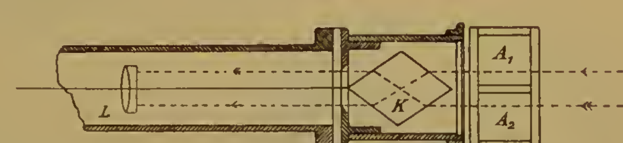
und ihn halbiert. Dieser Glaskörper sitzt in einer auf dem Spaltrohr befestigten Messinghülse, die nach der Lichtquelle zu durch eine planparallele Glasplatte verschlossen ist. Der Glaskörper leitet die Lichtstrahlen, welche auf die obere Hälfte der Glasplatte fallen, in die untere Hälfte des Spaltes und umgekehrt und sorgt dafür, daß das mit Hilfe des Amicischen Prismas entstehende Spektrum in zwei völlig übereinstimmende, nur durch eine feine Linie getrennte Spektren zerlegt wird.



Figur 78. Querschnitt des Spektroskops von Pulfrich.

Der planparallelen Glasplatte der Messinghülse gegenüber befindet sich das gläserne Absorptionsgefäß, das aus zwei Abteilungen besteht, mit Hilfe einer Deckplatte aus Glas verschlossen und in einen Metallrahmen eingefügt ist; eine Feder drückt dabei die Deckplatte wasserdicht auf das Trögchen auf. Der Metallrahmen kann auf eine von einem wagerechten Fortsatz des Stativs getragene Grundplatte so aufgesteckt werden, daß die Zwischenwand des Absorptionströgchens horizontal oder vertikal steht.

Bei der spektroskopischen Untersuchung des Hämoglobins und seiner Derivate löst man unter Zusatz von Soda (0,1 prozentige Lösung) das zu untersuchende Blut. Ist der Zusatz von Soda nicht zulässig, so wird das Blut in destilliertem Wasser gelöst und filtriert.



Figur 79. Vergleichsspektroskop, nach Bürker.

Chemisch reine Soda erhält man durch Erhitzung von chemisch reinem $NaHCO_3$ in einem Porzellantiegel so lange, bis eine über den Tiegel gehaltene Glasplatte von Zimmertemperatur sich nicht mehr mit Wasser beschlägt.

Man nimmt soviel Wasser bzw. Sodalösung, daß das Blut etwa hundertfach verdünnt wird.

Um die verschiedenen Hämoglobinderivate zu untersuchen, empfiehlt es sich, die Veränderung in einer Probe derselben Oxyhämoglobinlösung vorzunehmen und also alle beide in derselben Konzentration zu untersuchen.

Nach BÜRKER bekommt man diese verschiedenen Derivate durch Behandlung der etwa einem Prozent Blut entsprechenden Oxyhämoglobinlösung in folgender Weise.

Methämoglobin: Zusatz von einem Tropfen 10prozentiger Ferrizyankaliumlösung zu je 1 ccm der nur mit destilliertem Wasser hergestellten Oxyhämoglobinlösung.

Alkalisches Methämoglobin: Wie oben, aber bei Anwendung einer mit Soda dargestellten Oxyhämoglobinlösung.

Kohlenoxydhämoglobin: Sättigung des Oxyhämoglobins mit Kohlenoxyd (Leuchtgas).

Reduziertes Hämoglobin: Zusatz von einem Tropfen konzentrierter Schwefelammoniumlösung zu je 1 ccm der Oxyhämoglobinlösung; sorgfältiger Abschluß von der Luft.

Hämatin: Zusatz von einem Tropfen 15prozentiger Kalilauge zu je 1 ccm der Oxyhämoglobinlösung; Aufkochen und Abkühlen der Lösung.

Hämochromogen: Dasselbe Verfahren wie bei der Darstellung des Hämatins; dann Zusatz von einem Tropfen konzentrierter Schwefelammoniumlösung zu je 1 ccm der Mischung. Abschluß von der Luft.

Es ist sehr zweckmäßig, die betreffenden Reaktionen, insofern sie sich nur auf den Zusatz von Schwefelammonium oder Ferrizyankalium beziehen, in der Weise vorzunehmen, daß man den Tropfen des Reagenses zu der im Troge befindlichen Lösung von Oxyhämoglobin zugießt. Bei länger dauernden Reaktionen, wie die Reduktion des Oxyhämoglobins durch Schwefelammonium, hat man dann die Gelegenheit, den Übergang des einen Absorptionsspektrums in das andere zu verfolgen. Es ist auch nützlich, nach eingetretener Reduktion des Oxyhämoglobins durch Lüften des Deckglases ein Luftbläschen in den Trog hineinzuführen, um solcher Art die allmähliche Verwandlung des Hämoglobins in Oxyhämoglobin zu beobachten.

C. Quantitative Bestimmung des Hämoglobins.

Zur quantitativen Bestimmung des Hämoglobins sind sehr zahlreiche Methoden angegeben worden. Unter diesen können z. B. die folgenden im physiologischen Praktikum Anwendung finden.

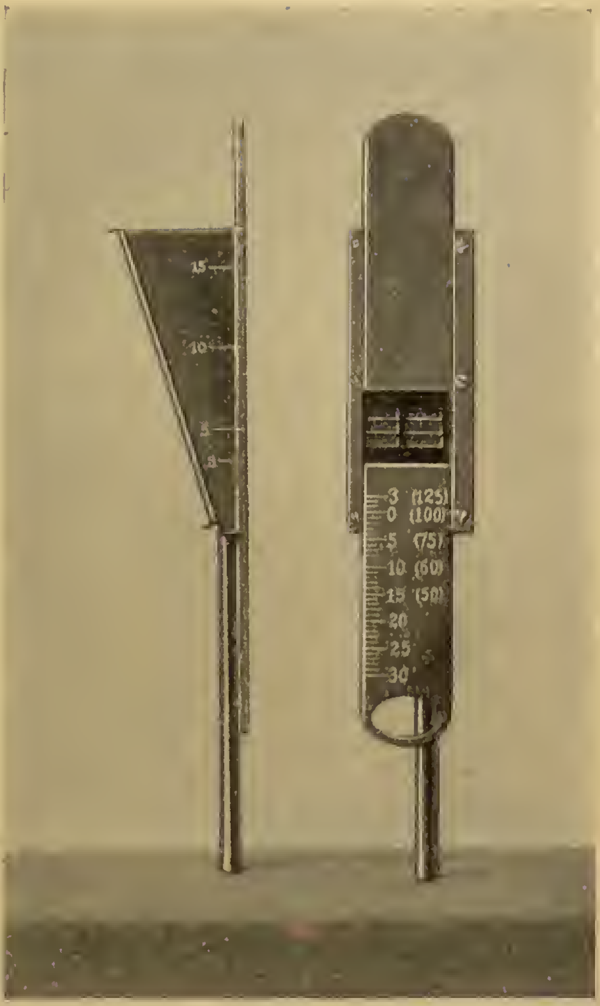
Im Keilhämometer von GRÜTZNER (Fig. 80) werden 1,98 ccm destilliertes Wasser mit Hilfe einer beigegebenen Pipette in ein kleines Gläschen abgemessen und aus einer gleichfalls beigegebenen Kapillarpipette 20 cmm Blut hinzugefügt und gemischt. Die so hergestellte Lösung kommt in die linke Abteilung des Instrumentes.

Die rechte Abteilung des Hämometers enthält eine Glasscheibe, welche durch Kombination von gelbem und rotem Glas so genau wie möglich die Farbe des Hämoglobins in der hier stattfindenden Verdünnung hat. Von einer auf der Rückseite des Keils angebrachten Milchglasplatte gelangt

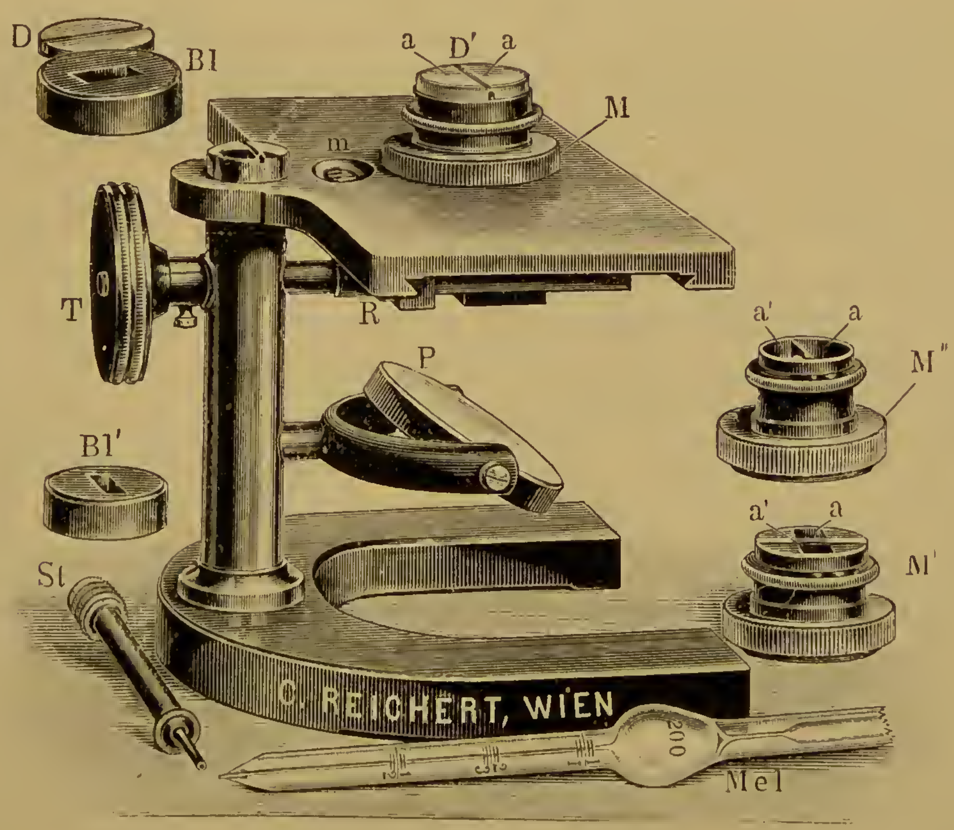
zerstreutes Tageslicht durch die beiden Abteilungen hindurch in das Auge des Beobachters.

Die diesem zugekehrte Keilseite trägt einen Schieber mit drei untereinander angeordneten Schlitzen, die zugleich mit dem Schieber vor den beiden Abteilungen des Keilgefäßes auf- und abgeschoben werden können.

Der Beobachter soll nun den Schieber so lange verschieben, bis in den beiden mittleren Schlitzen links und rechts die Farbe gleich intensiv rot ist. Zu dem Zwecke hält die linke Hand des Beobachters den Apparat an seinem Stiel fest, während der in die ovale Öffnung des Schiebers eingestemmte Daumen derselben Hand die Verschiebung besorgt. Die rechte Hand drückt eine innen geschwärzte Tube möglichst senkrecht auf die dem Untersucher zugekehrte Keilfläche so auf, daß im Gesichtsfelde des Beobachters so weit möglich nur die roten Schlitze erscheinen.



Figur 80. Hämometer, nach Grützner.



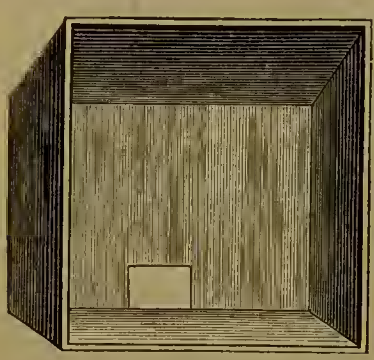
Figur 81. Fleischls Hämometer.

Am linken Rande des Schiebers ist eine Skala angebracht, welche die Hämoglobinwerte in Prozent der Norm angibt.

Der Apparat gibt Resultate, welche nur um einige Prozent von den richtigen Werten abweichen.

Zur Bestimmung des absoluten Hämoglobingehaltes im Blut dient das von v. Fleischl ursprünglich konstruierte Hämometer in dessen von Miescher herrührenden Modifikation.

Die wesentlichen Teile dieses Instrumentes (Fig. 81) sind folgende: a) ein durch eine Zwischenwand in zwei Hälften geteiltes Gefäß *M* mit Boden aus Glas; in die eine Hälfte dieses Gefäßes kommt die zu untersuchende verdünnte Blutlösung, in die andere destilliertes Wasser; unter dieser Hälfte findet sich b) ein Keil *K* aus Rubinglas, welcher mittels des Triebes *T* von der einen Seite zur anderen bewegt werden kann. Durch beide Teile des Gefäßes wird Licht durch den Gipsreflektor *P* geworfen. Die Aufgabe des Untersuchers besteht nun darin, den Keil so einzustellen, daß die Farbe in beiden Teilen des Gefäßes *M* gleich ist.



Figur 82. Dunkelkammer für Hämoglobinbestimmung.

Das Instrument wird in einem völlig dunklen Raum, bei Tag am besten in einer Dunkelkammer (Fig. 82) aufgestellt; weißes Licht jeglicher Art soll unbedingt vermieden werden, weil dasselbe bei der Vergleichung der roten Felder sehr störend einwirkt. Als Lichtquelle benutzt man daher einen Argand-Gasbrenner (nicht Auerlicht) oder eine gewöhnliche Petroleumlampe.

Die Blutentnahme geschicht in der schon angegebenen Weise (S. 67). Der erste, eventuell auch der zweite Tropfen wird mit einem reinen trockenen Lappen weggewischt und erst der folgende zur Füllung des Melangeurs verwendet.

Der Melangeur besteht, wie aus Figur 81 *Mel* ersichtlich, aus einer mit Teilung versehenen kapillaren Röhre, an welche sich eine Hohlkugel anschließt, die ihrerseits wieder von einer kapillaren Röhre fortgesetzt wird. Die Spitze des gut getrockneten Melangeurs wird in den Bluttropfen gesetzt und durch Saugen mittels eines am anderen Ende des Instruments befestigten Schlauches Blut, je nach der gewünschten Verdünnung, zu einer der drei an der kapillaren Röhre mit $^1/_{400}$, bzw. $^1/_{300}$ oder $^1/_{200}$ angegebenen Marken gesaugt. Da diese Marken die Röhre ringförmig umgeben, sucht man, behufs einer exakten Abmessung, die Kuppe der Blutsäule mit den beiden Enden der Marke zur Deckung zu bringen, indem man mit dem Auge von der Seite her visiert.

Sollte dies jedoch nicht rasch genug gelingen, bevor eine Gerinnung des Blutes zu befürchten ist, so kann man ein Plus oder Minus mit Hilfe der ober- und unterhalb der Hauptstrecke angebrachten kleinen, den $^1/_{100}$ der

ganzen Kapillare entsprechenden Nebenstrecken richtig abschätzen und in Rechnung ziehen.

Dabei hat man sich noch davon zu überzeugen, daß die Blutsäule wirklich bis zum untersten Ende der Spitze reicht.

Dann wird die Kapillare äußerlich mit einem trockenen Tuche abgewischt und rasch in die Verdünnungsflüssigkeit — eine 1 promillige Lösung von Natriumkarbonat — getaucht. Diese Flüssigkeit wird rasch bis hinan zur oberen Marke am Ansatzrohre angesogen, wobei natürlich keine Luft in den Melangeur eindringen darf. Bei dieser Prozedur tut man gut, den Melangeur in senkrechter Stellung zu halten und zwischen den Fingern leicht zu drehen, damit sich die Glasperle im Inneren der kugelförmigen Erweiterung etwas hin und her bewege. Dadurch werden kleine an den Flächen der trockenen Glasperle haftende Luftbläschen vermieden.

Sobald der Melangeur bis zur oberen Marke gefüllt ist, wird er geschüttelt, hierauf durch Ausblasen eines Tropfens der reinen Verdünnungsflüssigkeit entledigt, die sich in seiner Kapillare befindet, und kann sofort zur Beschickung des Vergleichsgefäßes verwendet werden.

Nach dem Gebrauche wird der Melangeur zuerst mit destilliertem Wasser, welches man einige Male durchziehen läßt, dann mit absolutem Alkohol und schließlich mit Äther gereinigt. — Gerinnsel, die sich im Melangeur gesammelt haben, können nur mit großer Mühe wieder entfernt werden; man bedient sich hierzu eines feinen Silber- oder Nickeldrahtes und verdünnter Kalilauge.

Mit der im Melangeur befindlichen klaren Blutlösung soll zunächst die größte der beiden dem Instrumente beigegebenen Kammern beschickt werden.

In die eine Hälfte der Kammer wird mittels einer Glaspipette reines Wasser gefüllt; die Füllung soll so reichlich sein, daß ein konvexer Meniscus die Kammeroberfläche überragt. Die etwas über das obere Kammerniveau ragende Zwischenwand verhindert ein Überfließen der Flüssigkeit in die andere Hälfte des Gefäßes.

In ähnlicher Weise wie die erste wird nun die zweite Hälfte der Kammer gefüllt, indem man letztere durch das seines Kautschukschlauches entledigte Ansatzrohr des Melangeurs tropfenweise in die Kammer hineinbläst. Auch hier soll die Füllung so sein, daß ein konvexer Meniscus die Kammeroberfläche überragt.

Nun wird das Deckglas von der Seite her, die Rinne nach unten, vorsichtig in der Richtung der Scheidewand über die Kammeroberfläche möglichst horizontal geschoben, so daß keine Luftblasen unter das Deckglas kommen.

Schließlich wird noch die hülsenförmige Blende *Bl* vorsichtig und ohne Verschiebung des Deckglases auf die Kammer aufgesetzt und so gedreht, daß die Längsachse der Öffnung genau senkrecht zur Zwischenwand der Kammer zu stehen kommt.

Die ganze Kammer wird auf die kreisförmige Öffnung des Hämometers plaziert und so gedreht, daß die Zwischenwand mit der vorderen Kante des Glaskeils in eine und dieselbe frontale Ebene zu stehen kommt.

Die größere der beiden dem Hämometer beigegebenen Kammern hat eine Höhe von genau 15 mm, die kleinere eine von 12 mm.

Die Vergleichung geschieht nun durch Verschieben des Glaskeiles, bis jeder Intensitätsunterschied in der Farbe der beiden Flächen vollkommen verschwunden ist. Man erleichtert sich diese Einstellung dadurch, daß man den Keil jeweils um ein weniges über die richtige Stellung nach beiden Seiten hin hinausschiebt und diese Abstände immer mehr verkleinert, bis man schließlich die richtige Lage glaubt gefunden zu haben.

Sobald dies stattgefunden hat, liest man das Resultat an der Skala bei *m* ab.

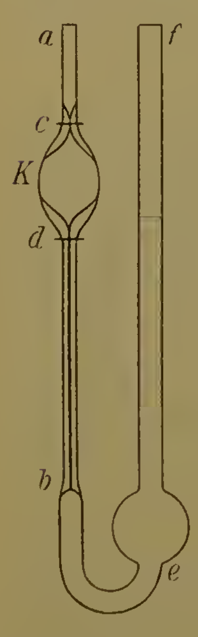
Man tut gut, rasch hintereinander etwa 10 Einstellungen zu machen, deren Resultate sofort zu notieren und dann das arithmetische Mittel zu berechnen.

Mit Hilfe der beigegebenen Kalibrierungstabelle können die gefundenen Hämometerwerte unschwer in absolute Hämoglobinwerte, Milligramm Hämoglobin pro 1000 ccm der untersuchten Lösung, umgerechnet werden.

Nach Veillon beträgt der durchschnittliche Fehler etwa 1 Prozent der Skala, gleich etwa 0.15 Proz. des Hämoglobins.

II. Die Viskosität des Blutes.

Unter den zur Bestimmung der Viskosität tierischer Flüssigkeiten angegebenen Apparaten sei nur der von Ostwald hier beschrieben. Derselbe besteht aus einem U-förmigen Rohr (Fig. 83), dessen einer Schenkel zwischen *b* und *d* aus einem Kapillarrohr hergestellt ist. Man gießt in *f* eine genau bestimmte Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit ein, saugt sie bei *a* bis über die Marke *c* und läßt dann die Flüssigkeit unter ihrem eigenen Druck ausfließen. Man notiert die Zeiten, wenn *c* und *d* von der Oberfläche der Flüssigkeit passiert werden; zu diesem Zwecke benutzt man zweckmäßig eine Uhr mit springendem Sekundenzeiger (auch $^1/_5$ Sekundenzeiger). Nach Reinigung und Trocknen des Apparates bestimmt man in gleicher Weise die Zeit, welche destilliertes Wasser braucht, um durch das Viskosimeter zu passieren.



Figur 83. Viskosimeter, nach Ostwald.

Dann findet sich der relative Reibungskoeffizient η der untersuchten Flüssigkeit nach der Formel

$$\eta = \frac{\eta_0 s t}{s_1 t_1};$$

wo η_0 den relativen Reibungskoeffizienten des destillierten Wassers (= 1), s das spezifische Gewicht des Wassers, s_1 das des Blutes, t die Zeit, während welcher das Wasser von c bis d geströmt ist, t_1 die entsprechende Zeit für das Blut bezeichnet. Da η_0 und s hier gleich 1 sind, ist also

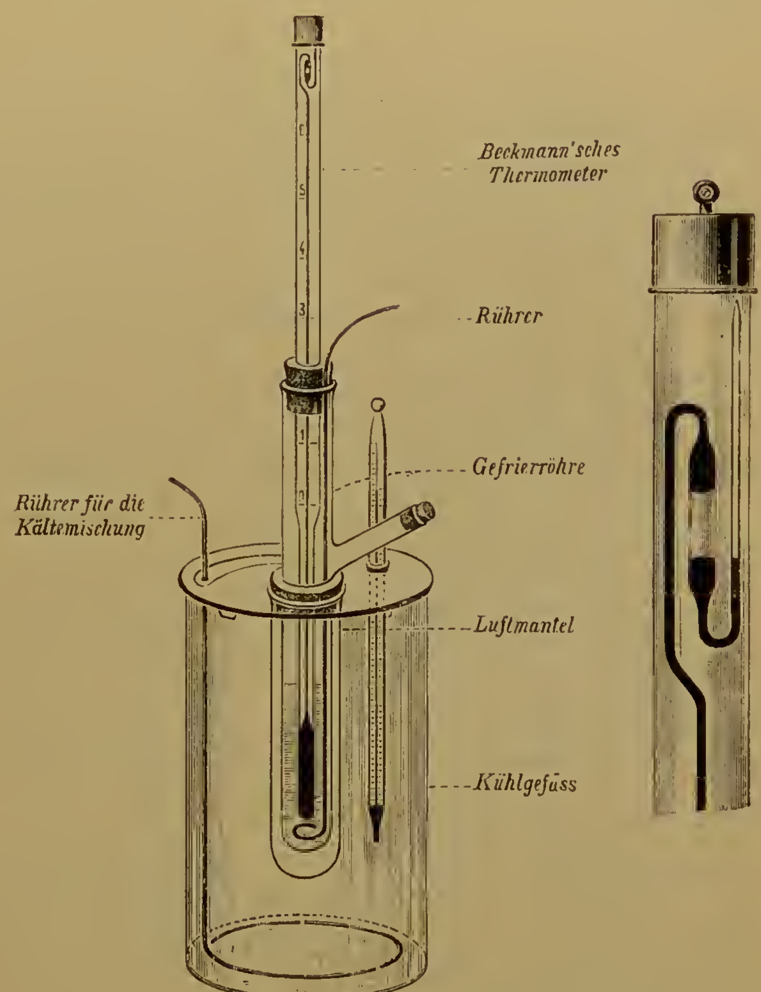
$$\eta = \frac{t}{s_1 t_1}.$$

Da die Temperatur einen großen Einfluß auf den Reibungskoeffizienten ausübt, muß man das Viskosimeter bei diesen Versuchen in einem durchsichtigen Thermostaten mit konstanter Temperatur halten.

III. Der osmotische Druck.

Der osmotische Druck einer Flüssigkeit kann in absoluter Größe oder relativ zu anderen Größen nach mehreren verschiedenen Methoden bestimmt werden. Unter diesen werde ich nur die Methode der Gefrierpunktserniedrigung und die Blutkörperchenmethode besprechen und verweise betreffend die übrigen auf Spezialarbeiten.

Die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung findet in folgender Weise statt (Fig. 84). Die Flüssigkeit, deren Gefrierpunkt bestimmt werden soll, wird in ein Gefäß, wo das Thermometer steckt, eingegossen und mittels des Rührers gemischt. Diese Gefrierröhre ist von einem Reagensglas umgeben und ist ihrerseits in ein größeres Kühlgefäß eingesenkt. Das Kühlgefäß ist von einer wollenen Decke umgeben und mit einem Metalldeckel oben geschlossen.



Figur 84. Apparat zur Gefrierpunktsbestimmung, nach Beckmann.

Die Skala des Thermometers umfaßt nur 4—7 Grade; jeder Grad ist in 100 Teile geteilt; bei Ablesung mittels einer Lupe können noch $^1/_{1000}$ Grade geschätzt werden.

Während sich das Reagensglas, das einen Luftmantel darstellt, mit einem Korkstopfer verschlossen im Kühlgefäß befindet, wird letzteres mit der Kältemischung (3 Teile feingestoßenem Eis und 1 Teil Kochsalz) gefüllt. Die Kältemischung soll mittels eines Rührers gemischt werden und durch Zusatz von Wasser auf einer Temperatur von etwa — 3° bis — 5° C gehalten werden.

Dann wird das Gefrierrohr mit 10 ccm destillierten, vorher abgekühlten Wassers gefüllt, das Thermometer und der Rührer in die Flüssigkeit gesetzt und das Gefrierrohr mit Thermometer in den Luftmantel gebracht. Unter stetiger Umrührung des Wassers im Gefrierrohr beobachtet man nun die Temperatur, wenn es unterkühlt wird, und notiert den Punkt an der Skala, bis zu welchem das Quecksilber beim Eintreten der Eisbildung ansteigt und stehen bleibt.

Dieser Punkt stellt den Nullpunkt des Thermometers dar. Nun folgt der eigentliche Versuch, die Bestimmung des Gefrierpunktes des Blutes, die nach Reinigung und Trocknen des Gefrierrohres in ganz derselben Weise wie die Bestimmung des Gefrierpunktes des Wassers erfolgt.

Um einer starken Unterkühlung vorzubeugen, wird die Eisbildung, wenn das Quecksilber den Gefrierpunkt des Wassers erreicht hat, durch Impfen mit einem kleinen Eisstückchen, das man durch den schiefen Ansatz des Gefrierrohres in dieses hineinwirft, beschleunigt.

Bei der Blutkörperchenmethode von Hamburger untersucht man die Konzentration einer Salzlösung, bei welcher ein Farbstoffaustritt aus den roten Blutkörperchen erfolgt.

Salzlösungen, welche einen beginnenden Farbstoffaustritt aus demselben Blut veranlassen, sind untereinander isotonisch.

Wie die Bestimmung ausgeführt wird, geht am einfachsten aus dem folgenden Beispiel hervor.

Wenn man in einem Reagensglas 0.5 ccm defibrinierten Rinderblutes zu einer etwa vierzigfachen Menge 1.04 prozentiger oder höher konzentrierter Kaliumnitratlösung vermischt und das Gemisch sich selbst überläßt, so setzen sich die Blutkörperchen zu Boden, während eine klare, fast farblose Flüssigkeit darüber stehen bleibt.

Führt man denselben Versuch mit einer Salpeterlösung von 0.96 Proz. und weniger aus, so zeigt die über dem Bodensatz stehende klare Schicht eine schwach rote Farbe, welche mit der Abnahme der Konzentration an Intensität zunimmt.

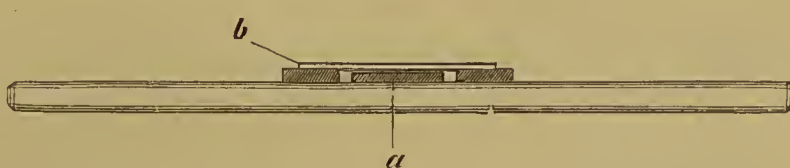
IV. Das Zählen der Blutkörperchen.

A. Der Zählapparat von Thoma-Zeiss.

1. Die roten Blutkörperchen.

Die Blutprobe wird in schon angegebener Weise entnommen und unter Anwendung des Melangeurs (vgl. S. 74) im Verhältnis 1 : 100 oder 1 : 200 mit der Flüssigkeit von Hayem verdünnt (5.0 g Natriumsulfat, 1.0 g Chlornatrium, 0.5 g Quecksilberchlorid, 200 g Wasser).

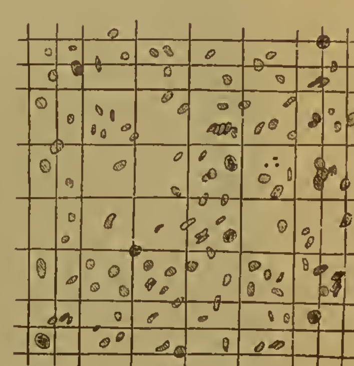
Es gilt nun zunächst, ein genau bestimmtes Quantum dieser Mischung abzumessen. Zu diesem Zwecke wird folgende Zählkammer benutzt.



Figur 85. Zählkammer im Profil, nach Thoma-Zeiss.

Auf einen Objektträger (Fig. 85) ist eine Platte mit kreisförmigem Ausschnitt von 11 mm Durchmesser, und innerhalb dieses Ausschnittes eine kleinere Platte *a* von 5 mm Durchmesser aufgekittet. Die Oberflächen beider Platten müssen genau plan geschliffen und einander parallel sein.

Die innere Platte ist genau 0.1 mm niedriger als die sie umgebende Platte mit kreisförmigem Ausschnitt und trägt auf ihrer freien Fläche eine Gitterteilung (1 qmm in 400 quadratische, gleich große Felder, Fig. 86).



Figur 86. Die Teilung der Platte *a*.

Auf diese Platte wird ein Tropfen der Blutmischung gebracht und das Präparat mit einem plan geschliffenen Deckgläschen bedeckt.

Die Zählkammer bildet jetzt einen Raum von 0.1 mm Tiefe, und jedes Feld der Teilung der Bodenplatte entspricht einem Volumen von 0.00025 cmm. Wenn die Blutverdünnung im Verhältnis 1 : 200 stattgefunden hat und man in n Feldern insgesamt y Blutkörperchen gezählt hat, so ist die Anzahl der Blutkörperchen in 1 cmm: $200\,y/0.00025\,n$.

Zur Orientierung bei der Zählung ist, wie aus Figur 86 ersichtlich, in jedem fünften Zwischenraum der Gitterteilung eine Hilfslinie sowohl in horizontaler als in vertikaler Richtung gezogen.

Vor der Zählung muß man sich davon überzeugen, daß die Blutkörperchen einigermaßen gleichmäßig auf die einzelnen Quadrate verteilt sind. Wo dies nicht der Fall ist, ist das Präparat zu verwerfen.

Bei der Zählung der Blutkörperchen zählt man in jedem Quadrat 1. alle Blutkörperchen, die sich innerhalb desselben befinden und nicht dessen Grenzlinien berühren, sowie 2. alle Blutkörperchen, welche die obere und die rechte Seite decken oder von innen oder außen berühren, läßt aber unberücksichtigt alle Blutkörperchen, welche die linke und untere Seite decken oder von innen oder außen berühren.

Um genügend sichere Resultate zu erzielen, muß man mindestens 100 Felder zählen.

Die Zählung findet unter Anwendung des Objektivs D von Zeiss statt.

2. Die weißen Blutkörperchen.

Da die weißen Blutkörperchen viel weniger zahlreich als die roten sind, darf das Blut beim Zählen derselben nicht so stark verdünnt werden, weshalb hier ein besonderer Melangeur für eine Verdünnung im Verhältnis 1 : 10 oder 1 : 20 benutzt werden soll. Als Verdünnungsflüssigkeit wird hier eine 0.3 prozentige Lösung von Essigsäure benutzt, eventuell unter Zusatz einer kleinen Menge eines Leukozyten färbenden Farbstoffes, z. B. Methylenblau.

Um genügend sichere Resultate zu bekommen, muß man alle 400 Felder der Zählkammer zählen. Besser ist es indessen, eine Zählkammer ohne Netzteilung zu benutzen und die Zählung unter Anwendung eines netzförmigen Okularmikrometers vorzunehmen, denn solcherart können noch mehr Felder gezählt werden.

B. Der Zählapparat von Bürker.

Bürker hat den Melangeur ganz verworfen und stellt die Blutmischung dadurch dar, daß er durch verschiedene Pipetten das Blut und die Verdünnungsflüssigkeit abmißt und beide in einem besonderen Kölbchen untereinander mischt.

Die Verdünnungspipette (Fig. 87, die mittlere Pipette) faßt 4975 cmm Flüssigkeit und wird zuerst in das Kölbchen entleert. Dann füllt man die Blutpipette, welche 25 cmm faßt (Fig. 87, die obere Pipette), und entleert sie in das Kölbchen, indem ihre Spitze in die Verdünnungsflüssigkeit eingesenkt wird. Nach Entleerung der Blutpipette wird darin reine Verdünnungsflüssigkeit aus dem Kölbchen angesaugt, wieder ausgeblasen und Einsaugen und Ausblasen so lange fortgesetzt, bis die Pipette möglichst entleert ist.

Jetzt wird das Blut mit der Verdünnungsflüssigkeit durch vorsichtiges Schwenken des Kölbchens gemischt und dann eine Blutprobe mittels der untersten in Figur 87 abgebildeten Pipette in die eigenartig gebaute Zählkammer gebracht.

Die Zählfläche dieser Kammer (vgl. Fig. 87) wird durch die obere Fläche eines dem Objektträger aufsitzenden 25 mm langen und 5 mm breiten Glasstückes dargestellt. Dieses ist an den Enden abgerundet und in der Mitte durch eine 1.5 mm breite, angeätzte Rinne in zwei Abteilungen ge-

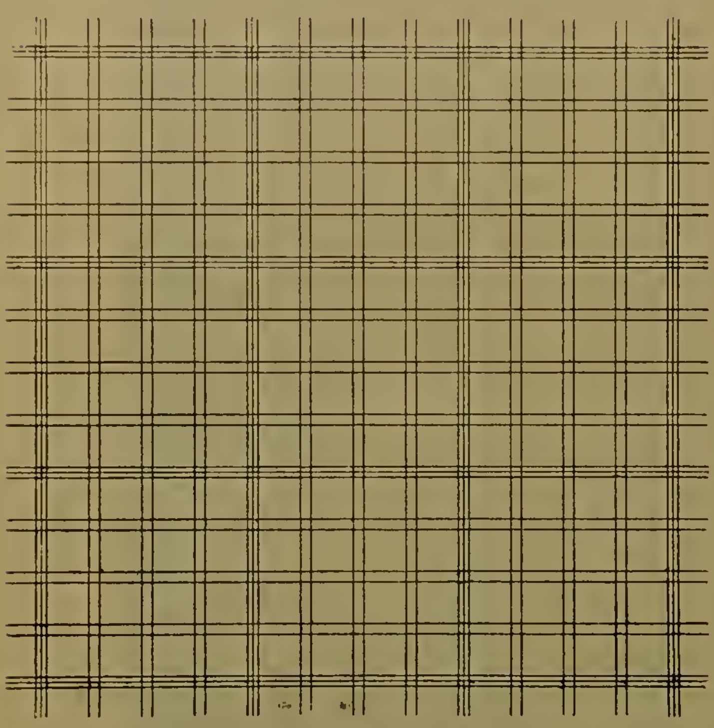


Figur 87. Zählapparat, nach Bürker.

trennt. Zu beiden Seiten dieses Glasstückes ist, gleichfalls durch eine 1.5 mm breite Rinne geschieden, je ein rechteckiges Glasstück von solcher Höhe aufgekittet, daß es um 0.1 mm die Höhe der Zählfläche überragt. Die Kammer wird durch ein planparalleles Deckgläschen in der Weise

gedeckt, daß unter diesem die abgerundeten Stücke der Zählfläche hervorragen.

Zur Beschickung der Kammer mit Blutmischung legt man zunächst das Deckglas so auf, daß auf den beiden Unterlagen Newtonsche Streifen erscheinen, wie dies auch beim Apparat von Thoma-Zeiss der Fall sein muß. Um das Deckglas fest aufzudrücken, sind am Objektträger besondere Klammern befestigt (vgl. Fig. 87). Dann erst bringt man auf den unterhalb des Deckglases herausragenden abgerundeten Teil der Zählfläche ein Tröpfchen der Blutmischung so, daß es sich durch Kapillarität sofort in die eine Abteilung der Zählkammer einsaugen kann, wodurch eine sehr gleichmäßige Verteilung der Blutkörperchen auf der Zählfläche erreicht und das Auftreten von Luftbläschen ganz vermieden wird.



Figur 88. Zählnetz, nach Bürker.

Das Zählnetz ist bei dieser Kammer von einer eigenartigen Konstruktion (vgl. Fig. 88). Es besteht aus einer Anzahl kleiner und großer Quadrate, von denen erstere (0.00025 cmm) für die Zählung der roten und letztere (0.004 cmm) für die der farblosen Blutkörperchen beabsichtigt sind.

Bei 200facher Verdünnung zählt man wenigstens 80 Quadrate durch, und zwar die eine Hälfte in der einen, die andere in der anderen Abteilung der Kammer.

Bei der Zählung mit diesem Netz ist ein in zwei zueinander senkrechten Richtungen verschiebbarer Objekttisch unentbehrlich.

Zur Protokollierung der Resultate benutzt Bürker Schemata, welche das Zählnetz in vergrößertem Maßstabe darstellen.

Die Reinigung der Pipetten erfolgt in der Weise, daß sie zunächst mehrere Male mit destilliertem Wasser ausgespült werden, worauf man zusieht, ob sich innen etwa Fibrin abgeschieden hat, was häufig der Fall ist. Man beseitigt dieses Fibrin sofort mit dem abgerundeten Ende eines weichen Silber- oder Nickeldrahtes, spült noch einige Male mit destilliertem Wasser aus, trocknet den Binnenraum mit Alkohol und Äther zu gleichen Teilen. Von Zeit zu Zeit werden die Pipetten eingehender mit konzentrierter Schwefelsäure, in welcher man etwas Kaliumbichromat aufgelöst hat, gereinigt.

SIEBENTES KAPITEL.

Die Blutbewegung.

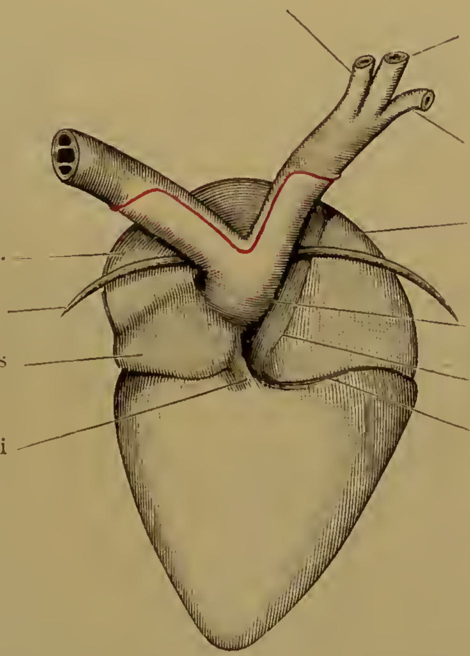
I. Das Herz.

A. Das Froschherz.

1. Die Bewegung des Froschherzens in situ.

Zur Untersuchung der Bewegungen des Froschherzens narkotisiert man den Frosch mit Urethan (vgl. oben S. 3).

Der Frosch wird dann auf dem Froschbrett befestigt (S. 6), die Brusthaut in der Mittellinie durchschnitten, die Brustmuskeln auf jeder Seite mit stumpfen Instrumenten nach außen verschoben. Mit einer scharfen Schere



Figur 89. Das Froschherz von vorn, nach Gaupp.

schneidet man die Coracoide beiderseits durch und hebt den vorderen Teil des Brustbeins auf, ohne die Organe der Leibeshöhle zu berühren oder zu verschieben. Man sieht dann das pulsierende Herz, von den Lungen umgeben, wie in einer Nische liegen.

Man faßt mit einer feinen Pinzette das Perikard und schneidet es in der Mittellinie, ohne das Herz selbst zu berühren, vorsichtig durch. Die Bewegungen des Herzens lassen sich jetzt sehr genau beobachten, und man kann sich ohne weiteres davon überzeugen, wie bei der Kammerkontraktion

die Spitze des Herzens unverrückt bleibt und die Kammerbasis sich ihr nähert.

Um das Herz vom Körper auszuschneiden, faßt man nach Eröffnen des Perikards mit einer Pinzette die eine Aorta und schneidet peripher davon die beiden Aorten vollständig durch, indem man mit einer rechtwinklig gebogenen stumpfen Nadel diese Gefäße vom unterliegenden Gewebe abhebt (Fig. 89). Bei den weiteren Manipulationen benutzt man die eine Aorta als Handgriff, hebt das ganze Herz auf, durchtrennt mit einer kleinen Schere eine Vene, die innerhalb der Perikardialhöhle zur Bulbuswand verläuft, und schneidet schließlich die Hohlvenen und die Lungenvene durch. Dabei muß man sehr genau darauf achten, daß der Venensinus nicht beschädigt wird, weshalb es anzuraten ist, beim ersten Herausschneiden auch die angrenzenden Teile der Lungen und des Kehlkopfes mitzunehmen und an diesem Präparat die letzte Toilette zu machen.

Nach beendigter Präparation kann man sich davon überzeugen, daß das ausgeschnittene Herz bei der Diastole gar keine bestimmte Form hat, sondern nur von seiner Lagerung abhängig ist: hebt man es an der Aorta auf, so hängt es wie ein kleines Säckchen nach unten; legt man es auf einen Objektträger, breitet es sich ganz formlos darüber aus und ist einem Blutklümpchen äußerst ähnlich; usw.

Gleichgültig welche Form das Herz aber während der Diastole hat, nimmt es bei der Systole immer eine und dieselbe Form an, indem sich die Kammerspitze senkrecht über die Kammerbasis stellt.



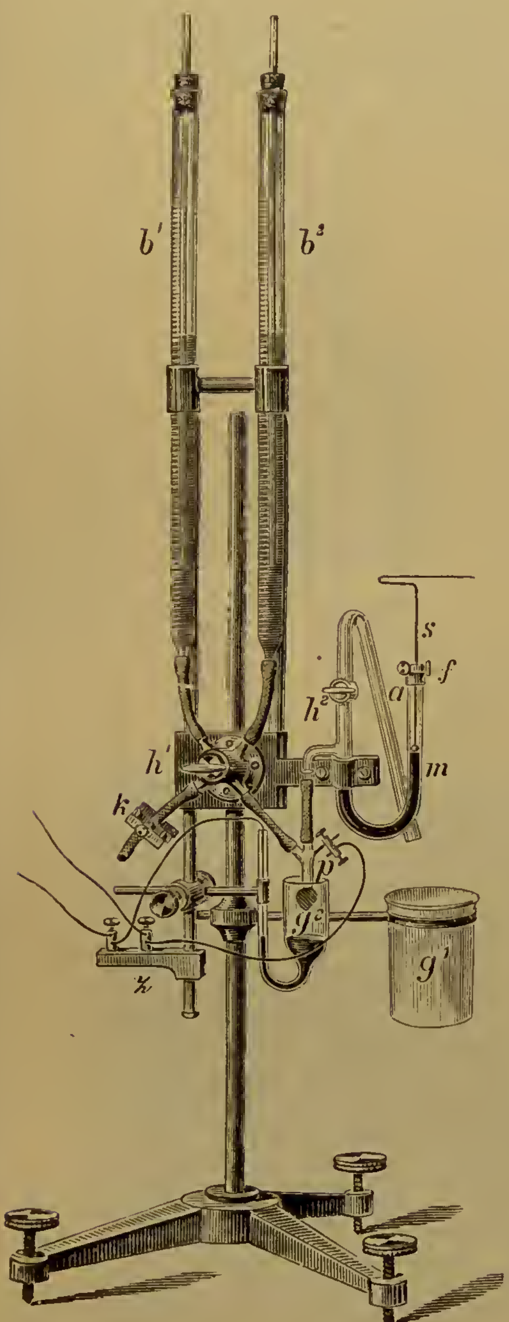
Figur 90. Anordnung für künstlichen Kreislauf beim Froschherzen.

2. Künstlicher Kreislauf durch das Froschherz.

Man legt das Herz in der soeben erwähnten Weise frei, unterbindet die Perikardialvene und bindet in die Vena cava inferior, wie in die eine Aorta je eine Kanüle ein; endlich werden die beiden oberen Hohlvenen samt der Lungenvene sowie die zweite Aorta gebunden. Das Herz wird in situ gelassen, der Frosch im Lumbalteile durchschnitten, die Baucheingeweide entfernt, und die Kanülen werden mittels Kautschukschläuchen an je einem Glasrohr vereinigt (Fig. 90). Das mit der Venenkanüle verbundene Rohr von etwa 200—400 ccm Inhalt enthält die Nährflüssigkeit, welche von ihm aus unter konstantem Druck in das Herz getrieben werden soll. Zu diesem Zwecke wird es als Mariottesche Flasche eingerichtet, d. h. nachdem es mit der Nährflüssigkeit gefüllt ist, wird es oben mit einem durchbohrten Gummi-

propfen geschlossen, durch das Loch eine Glasröhre so weit hineingeschoben, als der konstante Druck betragen soll, und endlich, vor der Befestigung der Venenkanüle an das Rohr, Flüssigkeit aus derselben entleert, bis Luft aus dem unteren Ende der inneren Röhre entweicht.

Die mit der Aortakanüle verbundene Röhre dient dazu, die von der Kammer ausgetriebene Flüssigkeit zu empfangen. Wenn man für die Entleerung des Herzens einen konstanten Widerstand herstellen will, verbindet man diese Röhre mit einem Schlauch und läßt diesen mit einer kleinen umgebogenen Röhre endigen, welche dann in beliebiger Höhe über ein weiteres Gefäß gehängt wird. Beide Röhren werden an einem und demselben Stativ befestigt. Beim Versuch soll man darauf genau acht geben, daß die Gefäße



Figur 91. Froschherzmanometer, nach Kronecker.



Figur 92. Perfusionskanüle, nach Kronecker.

nicht geknickt werden und also die Strömung durch das Herz verhindern.

Wenn dieser Versuch gut ausfällt, stellt er auch eine schöne Demonstration der Wirkung der Herzklappen dar.

Führt man die Venenkanüle durch den Vorhof hindurch bis in die Kammer und bindet die Aorta zu, so können die Kammerkontraktionen dadurch registriert werden, daß man die Kanüle mit einem Quecksilbermanometer verbindet.

Zu diesem Zwecke ist folgender Apparat von Kronecker sehr zweckmäßig (Fig. 91).

Die Kanüle (Fig. 92) ist doppelläufig, so daß die Flüssigkeit in der Kammerhöhle, wenn dies nötig ist, leicht gewechselt und die Höhle selbst ausgespült werden kann. Die eine Röhre der Kanüle *z* steht mit einer Bürette in Verbindung, die andere *a* kommuniziert mit dem Manometer.

Bei stattfindender Registrierung muß der Hahn h^1 (Fig. 91) geschlossen werden, da sonst die Flüssigkeit bei der Systole in die Bürette zurückgetrieben wird.

Um das Herz zu entleeren und es zu durchspülen, eventuell mit einer Flüssigkeit zu füllen, bedient man sich des am Manometer angebrachten Hahnes h^2 (Fig. 91).

Die Einwirkung verschiedener Nährflüssigkeiten kann mit diesem Apparat leicht untersucht werden, indem zu ihm zwei nebeneinander gestellte Büretten b^1, b^2 gehören, welche mittels des Dreiwegehahnes h^1 (Fig. 91) wechselweise mit dem Herzen verbunden werden können.



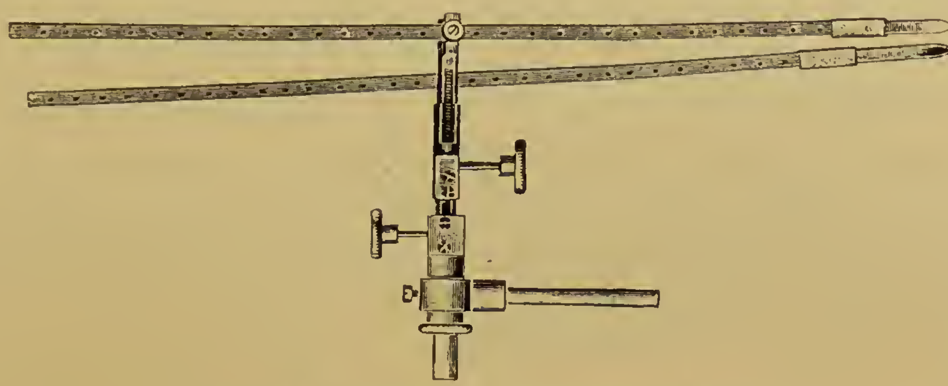
Figur 93. Williams' Apparat.

Ein anderer viel benutzter Apparat ist von Williams angegeben (Fig. 93).

Die Doppelwegkanüle *b* steckt auf der in die Aorta eingeführten Kanüle *a* und steht ihrerseits teils mit dem Behälter der Nährflüssigkeit *B*, teils mit einem registrierenden Manometer *M* in Verbindung. Durch künstliche Ventile *c*, *d* wird für die richtige Strömung des Blutes gesorgt. Diese Ventile sind einfach dadurch hergestellt, daß über die schlitzförmige Öffnung einer Glasröhre ein feines Goldschlägerhäutchen gespannt ist, das sich bei einem Überdruck in der einen Richtung von der Öffnung abhebt und sie im entgegengesetzten Falle wieder schließt.

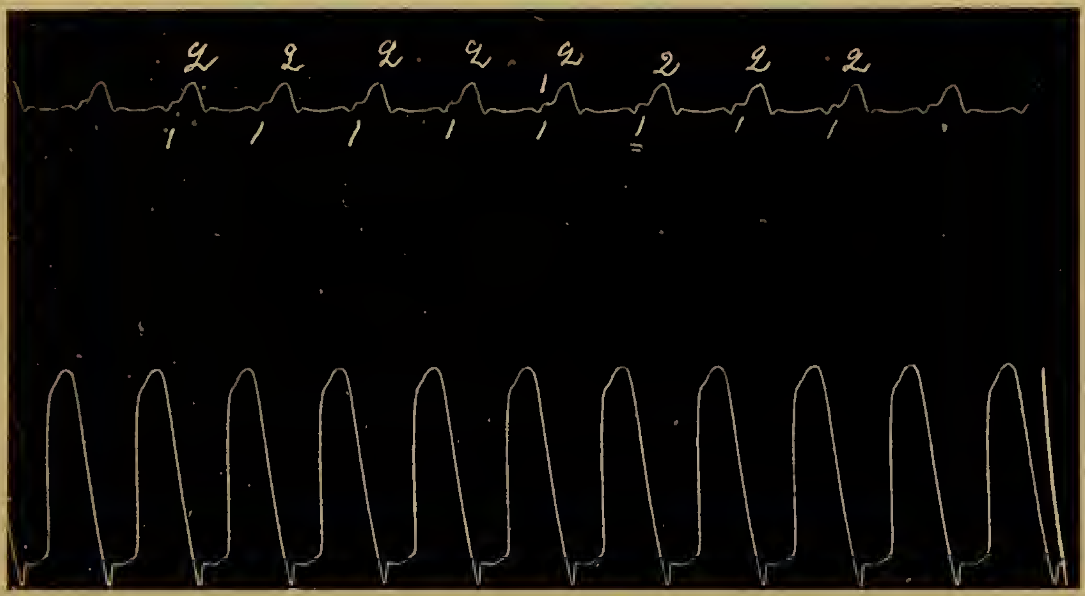
3. Registrierung der Bewegungen des Froschherzens.

Man legt das Herz frei (vgl. 83) und befestigt am Vorhof und an der Kammer je eine kleine Serre fine (vgl. Fig. 53, S. 46), die ihrerseits mit dem doppelten Hebel von Engelmann verbunden werden (Fig. 94).



Figur 94. Doppelhebel, nach Engelmann.

Bei diesem Apparat werden zwei Hebel aus Aluminium von einem und demselben Stativ getragen, und ihre Achsen sind in vertikaler Richtung gegeneinander verschiebbar. Das eine Ende jedes Hebels trägt die Schreibspitze, das andere ist mit mehreren Löchern versehen, in welche ein am



Figur 95. Kurven des Vorhofes (die obere Linie) und der Herzkammer (die untere Linie) des Froschherzens. Systole nach oben. *1, 1*. Sinuskontraktionen; *2, 2*, Vorhofskontraktionen. Geschwindigkeit 4 mm/Sek.

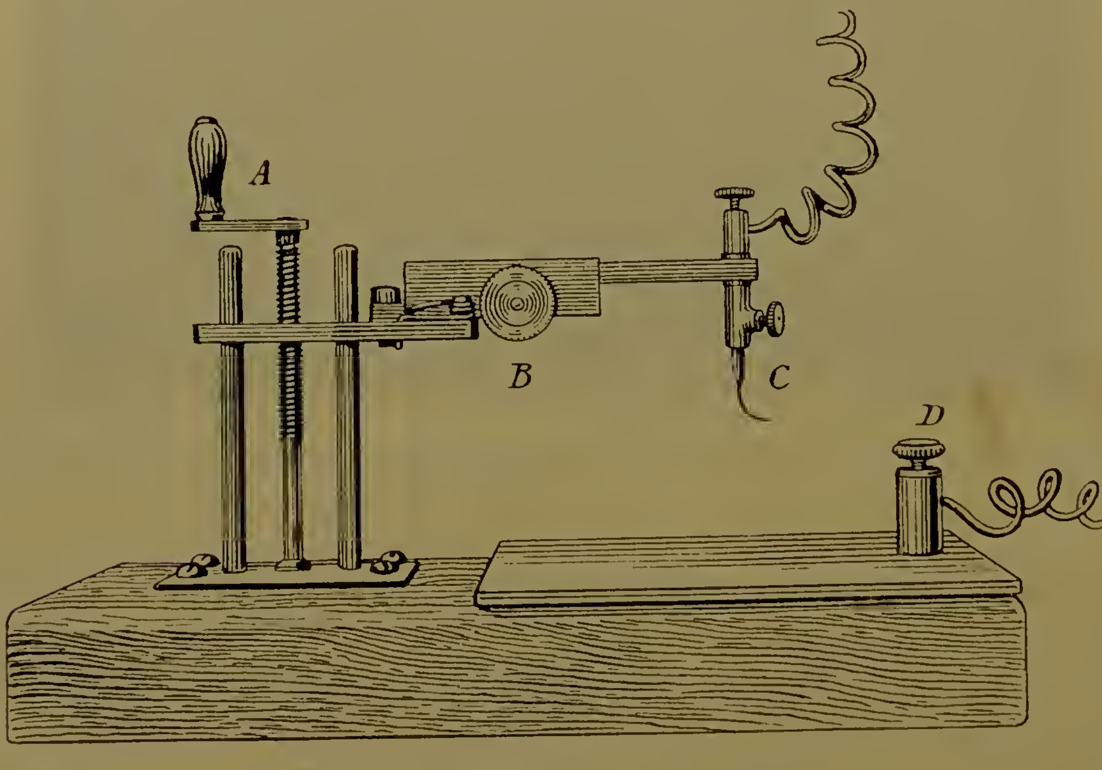
Faden befestigter Haken eingestochen wird. Die Länge des vom Faden angegriffenen Hebelarmes und also auch die Vergrößerung kann je nach Bedarf leicht innerhalb ziemlich weiter Grenzen variiert werden. Durch zweckmäßige Biegung der Hebel bringt man sie alle beide mit dem Registrierzylinder in Berührung.

Mittels dieser Methode werden die Veränderungen eines einzigen Herzdiameters registriert; sie kann daher keinen näheren Aufschluß über die Formveränderungen und noch weniger über die Druckveränderungen im Herzen geben. Auch sind die dadurch gewonnenen Aufschlüsse über die Größe der Herzkontraktionen und deren Veränderungen nur als ganz unsicher zu betrachten. Wenn man aber von dieser Methode nicht etwas herausbringen will, was sie überhaupt nicht zu leisten vermag, sondern sich darauf beschränkt, sie zur Angabe der Kontraktionsfrequenz und der zeitlichen Aufeinanderfolge der Tätigkeit der einzelnen Herzabteilungen zu benutzen, so wird sie immer ihren Wert behalten.

Man registriert also in dieser Weise die Bewegungen des linken Vorhofes und der linken Kammer. Oft macht sich an der Vorhofskurve die Kontraktion des Venensinus als eine vor der eigentlichen Vorhofskontraktion erscheinende Zacke geltend (Fig. 95).

4. Elektrische Reizung des Froschherzens.

Zur Reizung des Herzens benutzt man die monopolare Methode (vgl. S. 37). Man legt den Frosch auf eine Zinkplatte (Fig. 96), die mit dem einen Pol *D* der sekundären Rolle eines Induktionsapparates verbunden ist. Der andere Pol steht mit einem Arm in Verbindung, der an einem von der Metallplatte isolierten Stativ befestigt ist und durch Mikrometerschrauben rechts und links, nach vorn und nach hinten *B*, nach oben und nach unten *A* geführt werden kann. Der Arm trägt an seinem unteren Ende einen Platindraht *C* zur Reizung des Herzens. Mittels dieses Apparates kann eine lokalisierte Reizung jeder Stelle des Herzens zugeführt werden.



Figur 96. Reizapparat für das Froschherz.

Um am Registrierapparat den Augenblick der Reizung angeben zu können, bringt man entweder den Stromunterbrecher im primären Stromkreis direkt an die Schreibfläche und registriert also den Stromschluß bzw. die Öffnung des Stromes direkt, oder man schaltet in die primäre Leitung außer dem Stromunterbrecher noch ein elektrisches Signal ein, das dann an der Schreibfläche den Moment der Reizung angibt.

Bei der Reizung mit einzelnen Induktionsströmen wendet man entweder den Öffnungs- oder den Schließungsinduktionsstrom an, und blendet durch Schließen des in der sekundären Strombahn eingeschalteten Schlüssels den nicht gewünschten Induktionsstrom vom Herzen ab (vgl. S. 38).

Bei der Reizung legt man die bewegliche Elektrode an den zu reizenden Ort des Herzens und reizt diesen während der verschiedenen Phasen der Herztätigkeit, wobei man diese an der Kurve beobachtet. Während der ganzen Systole ist jede Herzabteilung für sich unerregbar. Eine Vorhofsreizung während der Vorhofssystole hat also keine Wirkung;



Figur 97 a.



Figur 97 b.

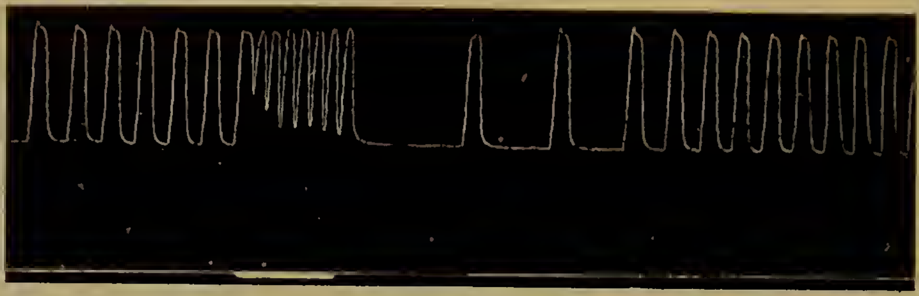
Figur 97. Elektrische Reizung des Froschherzens. a) Reizung während der Systole; b) Reizung während der Diastole. Der Reizungsaugenblick ist durch das Aufsteigen der Signallinie angegeben. 4 mm/Sek.

dagegen ruft die Vorhofsreizung während der Kammersystole eine Extrasystole des Vorhofes, auf welche eine Extrasystole der Kammer folgt, hervor. Man soll bei diesen Versuchen die verschiedene Größe der Extrakontraktion und die verschieden lange Dauer zwischen dem Augenblick der Reizung und dem Beginn der Extrakontraktionen, je nachdem die Reizung früher oder später nach beendeter Systole stattgefunden hat, sowie auch die zeitlichen Verhältnisse der nach der Extrakontraktion folgenden spontanen Kontraktionen beachten (vgl. Fig. 97).

Mit derselben Versuchsanordnung wird die Herzkammer mit frequenten Induktionsschlägen (schwingender Feder des Induktionsapparates) gereizt; dabei suche man die Reizungsfrequenz durch Verstellung der Feder möglichst zu variieren. Man kann sich dann davon überzeugen, wie dabei die Zahl der Kontraktionen zunimmt, jedenfalls aber viel kleiner bleibt als die Zahl der dem Herzen zugeführten Reize (vgl. Fig. 98).

Letztere kann am Registrierapparat mittels eines in der primären Strombahn eingeschalteten elektrischen Signals angegeben werden.

Endlich kann man in derselben Weise auch das am Froschherzmanometer befestigte Herz reizen und das Resultat der Reizung aus den Veränderungen der Druckkurve herauslesen. Zur Reizung wird das Gefäß g^2 (Fig. 91), worin das Herz zur Vermeidung des Austrocknens in Koch-



Figur 98. Tetanische Reizung des Froschherzens. Die Zeit der Reizung ist durch die Verbreiterung der Signallinie angegeben. 4 mm/Sek.

salzlösung badet, zum Teil mit Quecksilber beschickt und der eine Leitungsdraht zur sekundären Rolle des Induktoriums mit diesem verbunden; der andere Leitungsdraht wird an der Kanüle beim Dorn *f* (Fig. 92) angebracht. Hier findet also eine scharf lokalisierte Reizung wie im soeben beschriebenen Falle nicht statt.

5. Nährflüssigkeit für das Froschherz.

Um die Bedeutung verschiedener Substanzen für die Leistungsfähigkeit des Froschherzens zu untersuchen, muß man das Herz vorher mit physiologischer, 0.6 prozentiger Kochsalzlösung so weit ausspülen, daß es sich nunmehr nur sehr schwach oder gar nicht zusammenzieht. Erst dann läßt man die zu prüfende Nährflüssigkeit ins Herz eintreten.

Im einzelnen kann man in verschiedener Weise verfahren. Man kann z. B., wie oben dargestellt, eine Kanüle in die untere Hohlvene und eine andere in die eine Aorta binden oder einfach beide Aorten durchschneiden und nach Verschluß aller übrigen Gefäße das Herz, in situ oder ausgeschnitten, von der Venenkanüle her durchspülen und dann das Herz ebenfalls von der Venenkanüle mit der zu prüfenden Flüssigkeit speisen.

Oder man kann auch zu diesem Zwecke das Froschherzmanometer mit der doppelläufigen, in die Kammer hineingeführten Kanüle benutzen.

Da Blutreste sehr leicht in den kleinen, maschenförmigen Räumen an der inneren Wand der Kammer stehen bleiben (vgl. Fig. 99; die Kammer des Froschherzens besitzt keine Gefäße), begegnet die vollständige Ausspülung Schwierigkeiten; um sie zu erleichtern ist es bei der Anwendung des Froschherzmanometers zweckmäßig, das Herz von der Verbindung mit dem Manometer zu lösen und es während der Ausspülung mit der Spitze nach oben zu halten.

Bei der Anwendung des Froschherzmanometers stellt man von Zeit zu Zeit die Verbindung mit dem Manometer wieder her und registriert die

Kontraktionen des Herzens, um ihre Veränderungen zu verfolgen. Auch beim in situ gelassenen Herzen kann die Registrierung — mittels der Suspensionsmethode — in geeigneten Intervallen aufgenommen werden.

Nachdem die Herztätigkeit unter der Einwirkung der Kochsalzlösung schließlich sehr schwach geworden ist, fügt man zu derselben für je 100 ccm 1 ccm einer 0.02—0.01 prozentigen $NaHCO_3$-Lösung und setzt die Spülung mit dieser Lösung fort. Die Herzschläge sind anfangs ziemlich kräftig,



Figur 99. Durchschnitt durch die Wand der Herzkammer des Frosches, nach Gaupp.

nehmen indessen bald wieder an Stärke ab. Ein Zusatz von 1 ccm einer 0.01 — 0.02 prozentigen Chlorcalciumlösung für je 100 ccm der vorigen Lösung steigert die Leistungsfähigkeit des Herzens ganz erheblich; die diastolische Erschlaffung wird indessen immer unvollständiger, so daß das Herz sich endlich in einem Zustand von Dauerverkürzung befindet. Durch weiteren Zusatz von 1 ccm einer 0.0075 prozentigen Chlorkaliumlösung für je 100 g wird dieser Übelstand aufgehoben, und mit dieser aus NaCl, $NaHCO_3$, $CaCl_2$, KCl bestehenden, ursprünglich von Ringer vorgeschlagenen Flüssigkeit kann das Herz stundenlang tätig bleiben.

Diese Flüssigkeit hat also folgende Zusammensetzung:

0.6 Proz. NaCl
0.01 Proz. $NaHCO_3$
0.01—0.02 Proz. $CaCl_2$
0.0075 Proz. KCl

Es muß ausdrücklich bemerkt werden, daß bei diesen Versuchen das Wasser und alle Salze chemisch rein sein müssen.

6. Die Bedeutung der einzelnen Teile des Froschherzens.

Zur näheren Untersuchung über die Bedeutung der einzelnen Teile des Froschherzens können unter anderem folgende Versuche empfohlen werden.

Mittels eines erwärmten Stabes erwärmt man den Venensinus des ausgeschnittenen Herzens: dadurch werden nicht allein die Bewegungen des Sinus, sondern auch die der Vorhöfe und der Kammer beschleunigt; dagegen ruft die isolierte Erwärmung der Kammer keine Beschleunigung der Schlagfolge hervor.

Am Herzen in situ oder am auspräparierten Herzen legt man mit einem feinen Faden eine Ligatur um die Vorhöfe in der Mitte zwischen Sinus und Kammer, oder auch klemmt man sie dort mittels einer Pinzette ab: Sinus und der an ihm haftende Vorhofsrest fahren mit ihren Bewegungen im alten Rhythmus fort, während die Kammer und der an ihr stehen gebliebene Rest der Vorhöfe für eine kürzere oder längere Zeit stillstehen (Stannius' Versuch).

Der Versuch kann auch in der Weise gemacht werden, daß man mit einer sehr scharfen Schere das Herz in der Mitte der Vorhöfe durchschneidet.

Wenn man nach dieser Ligatur, bzw. Schnitt eine neue Ligatur in die Atrioventrikulargrenze legt, bzw. das Herz dort abschneidet, so fängt die bis jetzt stillstehende Kammer an zu schlagen, aber in einem Rhythmus, der wesentlich langsamer ist als der Rhythmus des unversehrten Herzens, bzw. des isolierten Sinus. Auch wenn „spontane“ Kontraktionen der vom Sinus isolierten Herzabteilungen auftreten, ist ihre Frequenz kleiner als die des ganzen Herzens vor der Abtrennung.

Am lebenden, mit Urethan vergifteten Frosch mit unversehrtem Kreislauf klemmt man mittels einer Pinzette die Kammer an der Grenze des obersten und mittleren Drittels stark ab, so daß allerdings der mechanische Zusammenhang zwischen den verschiedenen Kammerteilen noch unversehrt bleibt, andererseits aber die physiologische Verbindung zwischen ihnen aufgehoben ist. Nach Entfernung der Pinzette steht die Herzspitze still, während die übrigen Teile des Herzens inkl. des am Vorhof haftenden Teils der Kammer wie vorher schlagen (Bernstein).

Auch wenn man in einer feuchten Kammer das Tier 24 Stunden lang aufbewahrt, schlägt die Spitze nicht.

Es genügt aber, um sie zum Schlagen zu bringen, die Aorta mit einer kleinen Pinzette zu schließen. Das Blut sammelt sich dann immer mehr in der Herzspitze, und plötzlich erscheint eine kräftige Kontraktion derselben, die dann, solange der Verschluß bleibt, von anderen Kontraktionen gefolgt wird. Bei Lösen des Verschlusses geht die Herzspitze wieder in die Ruhe über.

Am Froschherzmanometer kann man die Eigenschaften der vom übrigen Herzen isolierten Spitze (Herzspitze) untersuchen, indem man die Kanüle von der V. cava inf. her in die Herzkammer hineinführt und die Ligatur an dem oberen Teil der Kammer anlegt. Auch dieses Präparat schlägt nicht spontan, kann aber durch verschiedene Flüssigkeiten wieder zu Kontraktionen gebracht werden.

Besonders instruktiv ist das Verhalten der so hergerichteten Herzspitze bei der Reizung mit einzelnen Induktionsströmen, wenn sie mit 0.6 prozentiger Kochsalzlösung oder Ringer-Lösung gespeist wird und noch nicht angefangen hat, sich zu kontrahieren.

Man fängt die Reizung bei einem so großen Abstand zwischen den Rollen an, daß das Herz noch nicht auf die Reizung reagiert, schiebt dann die sekundäre Rolle immer näher der primären und registriert für jede Reizstärke die dabei etwa auftretende Kontraktion. Man wird dann finden, daß diejenige Reizstärke, die gerade genügt, um eine Kontraktion hervorzurufen, auch die größtmögliche Kontraktion auslöst, indem die Kontraktion bei weiterer Erhöhung der Reizstärke nicht verstärkt wird.

7. Die Aktionsströme des Froschherzens.

Der Aktionsstrom des ausgeschnittenen Froschherzens läßt sich unschwer mit einem gewöhnlichen Galvanometer nach der unten Kap. XIII zu beschreibenden Methode für die Darstellung der Aktionsströme der Skelettmuskeln nachweisen. Da die Technik in beiden Fällen genau dieselbe ist, brauche ich hier nur auf die spätere Beschreibung zu verweisen.

Mit dem gewöhnlichen Galvanometer bekommt man indessen keine Aufschlüsse über den zeitlichen Verlauf der Aktionsströme; dazu braucht man ein Instrument, das schnellen Variationen der Ströme wirklich folgen kann. Ein solches Instrument ist das Kapillarelektrometer; dasselbe wird ebenfalls im Zusammenhang mit der Besprechung der Methoden zum Nachweis der Aktionsströme in den Skelettmuskeln beschrieben werden.

B. Das Kaninchenherz.

1. Die Bewegung des Herzens in situ.

Beim Kaninchen ist es zum Studium der Herzbewegung zweckmäßig, die Kurarevergiftung unter stetiger Zufuhr von Ätherdämpfen (S. 14) zu benutzen, um solcherart die den Versuch sonst komplizierenden Bewegungen der Skelettmuskeln zu vermeiden. Die Kurarevergiftung findet indessen erst statt, nachdem der Brustkasten eröffnet worden ist.

Nach der Tracheotomie (S. 12) wird die Brusthöhle geöffnet. Hautschnitt in der Mittellinie vom unteren Ende des Tracheotomieschnittes bis etwas distal von der Spitze des Schwertfortsatzes. Die Haut wird dann von der ganzen vorderen und seitlichen Brustwand abgelöst, was sehr leicht gelingt, da sie nur durch ganz dünne Bindegewebsbalken mit dem subkutanen Gewebe verbunden ist; hierbei wird eventuell das Thermokauter benutzt. Mit dem Thermokauter werden ferner die oberflächlichen Muskeln der Brustwand längs einer Linie, die am unteren Teil des Brustkastens etwa 2 cm von der Mittellinie beginnt, schief nach oben bis zu dem oberen

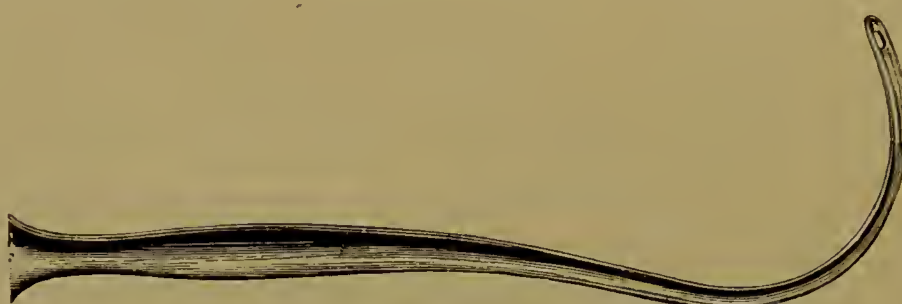
Viertel des Brustbeins geführt und weiter rings um das Manubrium fortgesetzt wird, durchschnitten und dann möglichst weit nach dem Rückgrat hin lospräpariert, so daß die Rippen nebst den Interkostalmuskeln freiliegen. Eine bei dem Durchbrennen der Muskeln eventuell entstehende Blutung wird durch Betupfen der blutenden Stelle mit dem schwach glühenden Thermokauter gestillt.

Während dieses Stadiums der Operation soll man sich davor hüten, die in der Achselhöhle verlaufenden großen Gefäße zu verletzen.

An der oberen Apertur des Brustkastens werden die Halsmuskeln in nächster Nähe des Sternums mit dem Thermokauter durchschnitten.

Nun macht man mittels des Thermokauters an beiden Seiten der Brustwand je eine Öffnung in einem der unteren Rippeninterstitien, wobei die Lungen zusammenfallen. Jetzt wird die künstliche Atmung eingeleitet und Kurare intravenös eingespritzt.

Ebenfalls mit dem Thermokauter werden an beiden Seiten die Rippeninterstitien bis zu dem dritten geöffnet, sowie an beiden Seiten der Basis



Figur 100. Stumpfe Nadel.

des Schwertfortsatzes ganz nahe demselben ein Schnitt in die Muskulatur daselbst gelegt.

Mittels einer gebogenen stumpfen Nadel (Fig. 100) wird an jeder Seite um die 2.—7. Rippe je eine Ligatur, möglichst weit nach dem Rückgrat hin, angelegt; um die 1. Rippe nebst dem Schlüsselbein wird jederseits eine Ligatur gelegt, wobei man, um die Halsgefäße zu schonen, mittels einer starken Pinzette das Manubrium möglichst hoch hebt; endlich wird von dem 6. Rippeninterstitium aus beiderseits ein Faden bis zum Schnitt neben dem Schwertfortsatz geführt, um die letzten Rippen in eine Massenligatur einzuschließen.

Median von den solcherart angelegten Ligaturen schneidet man mit einer starken Schere oder einer Zange die Rippen möglichst weit nach hinten durch, macht einen Querschnitt am unteren Ende des Brustbeins, hebt die vordere Brustwand als ganzes ab und trennt sie schließlich auch an der oberen Brustapertur durch.

Da die oberste und die unterste Ligatur auch die Aa. und Vv. mammariae int. und epigastricae fassen, findet die ganze Freilegung des Herzens ohne jeden Blutverlust statt.

Für den an diese Operation noch nicht gewöhnten Operateur ist es vorteilhaft, bei jedem Einstich der Nadel behufs Bindung der Rippen die künstliche Atmung für einen Moment zu unterbrechen, damit die Nadel die Lunge nicht fassen mag. Desgleichen ist es zu raten, die Entfernung der vorderen Brustwand bei momentan aufgehobener Atmung auszuführen. Diese kurze Unterbrechung schadet hier um so weniger, als die künstliche Atmung wohl in der Regel ausgiebiger ist als die normale.

Nachdem der Brustkasten also eröffnet ist, muß der Thymus entfernt werden, weil er besonders bei jüngeren Tieren den Überblick über das Herz wesentlich beeinträchtigen kann. Zu diesem Zwecke spaltet man die Drüse in der Mittellinie, was sich ohne scharfe Instrumente durch leichtes Ziehen an ihren beiden Lappen ausführen läßt, und schlägt die Lappen dann nach außen.

Nun faßt man mit einer Pinzette das Pericardium und durchschneidet es in der Mittellinie von oben nach unten; um einer Verletzung des Herzens und der großen Gefäße vorzubeugen, kann man, nachdem das Pericardium durch einen kleinen Schnitt geöffnet worden ist, die vollständige Spaltung unter Beihilfe einer Hohlsonde (Fig. 101) ausführen.



Figur 101. Hohlsonde.

Die Ränder des Pericardiums werden an die zurückgebliebenen Ränder des Brustkastens genäht, indem man mittels einer gekrümmten spitzen Nadel (vgl. S. 12) von der Innenseite des Pericardiums her Fäden durch das Pericardium und das entsprechende Rippeninterstitium zieht. Man legt etwa vier solche Fäden an und formiert also das Pericardium zu einer Art von Präsentierteller für das Herz.

Um die Vorhöfe usw. deutlicher überblicken zu können, wird der Schnitt ins Pericardium, wenn nötig, möglichst weit nach oben hin fortgesetzt.

An einem solcherart präparierten Herzen lassen sich nun unmittelbar mehrere Beobachtungen und Versuche machen.

In erster Linie kommen hier natürlich die normalen Bewegungen der einzelnen Herzabteilungen, wie sie ohne jeden äußeren Eingriff erscheinen, in Betracht. Da das Kaninchenherz indessen eine ziemlich große Frequenz hat und daher die Kontraktionen so schnell nacheinander folgen, daß sie nicht in genügendem Grade mit dem Auge wahrgenommen werden können, empfiehlt es sich, die Schlagfrequenz künstlich etwas zu vermindern, was am einfachsten durch kurzdauerndes Aufheben der künstlichen Atmung (1—2 Minuten) geschieht. Dabei werden nämlich die hemmenden Herznerven im Vagus erregt und rufen eine mehr oder weniger bedeutende Verlangsamung der Herzschläge, bzw. Herzstillstand hervor.

Hierbei soll man nun darauf acht geben, wie sich die Größe der Herzkammer während der künstlichen Atmung und bei der Erstickung verhält; wie die Kontraktion der einzelnen Herzabteilungen erfolgt; welche Bewegungen von der Herzbasis und der Herzspitze ausgeführt werden; wie sich die Herzspitze bei der Systole aufrichtet und dergleichen mehr.

Bei stattfindender Lungenventilation ist die Farbe der rechten Hälfte des Herzens dunkel-, die der linken aber hellrot. Beim Ausstellen der künstlichen Atmung verändert sich die Farbe des linken Herzens, und binnen kurzem läßt sich zwischen den beiden Herzabteilungen kein Farbenunterschied mehr wahrnehmen.

Wenn die künstliche Atmung wieder eingeleitet wird, soll man auf die Farbe des linken Herzens genau aufpassen. Etwa in der Mitte des bisher stark dunklen Vorhofes erscheint im dunklen Blut plötzlich ein hellroter Fleck, der sich schnell auf den ganzen Vorhof und dann auf die linke Kammer ausbreitet.

2. Die Form der Herzhöhlen.

Um die Form der Herzhöhlen bei maximaler Kontraktion des Herzmuskels kennen zu lernen, bringt man das aus dem Körper herausgeschnittene,



Figur 102. Querschnitt durch das maximal kontrahierte Kaninchenherz.

noch schlagende Kaninchenherz in eine auf 50° C. erwärmte gesättigte Lösung von doppeltchromsaurem Kalium und macht dann eine Reihe von Querschnitten durch die Kammern (Fig. 102).

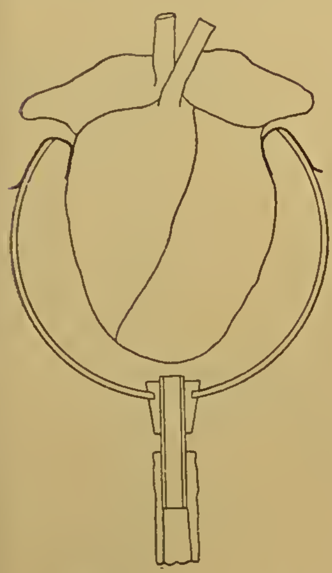
Es ist zu bemerken, daß sich das Herz hierbei ohne irgendwelchen Widerstand zusammengezogen hat.

3. Die Volumenveränderungen der Kammern.

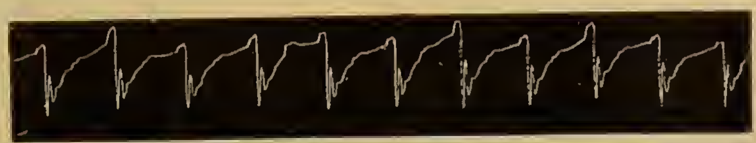
Die bei der Systole und Diastole stattfindenden Volumenveränderungen der beiden Herzkammern können in folgender Weise registriert werden. An einem gewöhnlichen Gummiballon von geeigneter Größe und etwa 2 mm Wanddicke schneidet man ein Fenster so groß, daß die beiden Herzkammern durch dasselbe in den Ballon gebracht werden können. Über dieses Fenster wird eine sehr feine Gummimembran (Kondom) mit Gummizement geklebt und in diese ein ovales Loch gemacht. Um keine Risse in der Gummimembran zu bekommen, soll man das Loch nicht schneiden, sondern mit dem Thermokauter brennen. Am Ballon ist endlich eine Röhre befestigt.

die unter Vermittlung eines Schlauches mit einer Schreibkapsel oder einem Pistonrekorder verbunden wird (Fig. 103).

Der kleine Apparat wird über die Herzkammern des Kaninchenherzens geführt, so daß die dünne Gummimembran in die Atrioventrikularfurche zu liegen kommt und dort die Höhle des Ballons von der Außenwelt abgrenzt. Dabei darf das Perikard nicht, wie oben beschrieben, an die Ränder des geöffneten Brustkastens genäht sein, weil dadurch das Herz beim Anlegen des Ballons zuviel disloziert werden würde.



Figur 103. Ballon für die Aufnahme der Volumenschwankungen des Herzens, nach Henderson.



Figur 104. Volumenveränderungen der beiden Kammern des Kaninchenherzens; Systole nach unten, Diastole nach oben.

Die von der Schreibkapsel geschriebene Kurve entspricht den gesamten Volumenveränderungen der Herzkammern, sie gibt also an, wie sich diese während der Systole entleeren und während der Diastole wieder füllen. Bei der Aufnahme der Kurve ist es zweckmäßig, die künstliche Atmung aufzuheben, weil diese mehr oder weniger bedeutende Störungen in der Kurve bewirkt (Fig. 104).

4. Die Herzklappen.

a) Der Apparat von Gad. Um das Klappenspiel im Herzen zu demonstrieren, hat Gad ein Verfahren angegeben, welches mit einigen leichten Modifikationen aus folgendem besteht (vgl. Fig. 105).

Als Objekt wird ein großes Ochsenherz benutzt. Man bindet in den linken Vorhof eine zylindrische Messingkanüle von 7 cm Durchmesser und 5 cm Länge ein. Die äußere Öffnung der Kanüle ist mit einer Glasplatte versehen. Seitlich an der Kanüle befindet sich ein Tubulus von 1.5 cm Durchmesser und 2.5 cm Länge. Eine ebenso eingerichtete Kanüle von 5 cm Durchmesser wird in die Aorta gebunden. Durch den seitlichen Tubulus kommuniziert die Vorhofskanüle mittels eines weiten kurzen Kautschukrohres mit der nahe dem Boden befindlichen Tubulatur einer 5 Liter-Flasche, welche als Druckflasche so aufgestellt und mit Wasser gefüllt wird, daß das Wasserniveau sich etwa 40 cm über dem Vorhof befindet.

An dem seitlichen Tubulus der Aortakanüle ist ein 1 m langes Kautschukrohr aufgebunden, welches gerade in die Höhe zu einem umgebogenen Rohre führt, dessen freies Ende über einem Trichter mündet, von dem ein Kautschukrohr bis unter das Niveau des Wassers in der Druckflasche reicht.

Bei der ursprünglichen Anordnung von Gad wurde in der aus Figur 105 ersichtlichen Weise eine in die Kammer eingeführte Glühlampe von einer kleinen Batterie gespeist. Bequemer läßt sich dies unter Anwendung des Starkstromes durchführen. Zu diesem Zwecke werden in die Spitze der linken Kammer nebeneinander ein dickes Glasrohr *B* (Fig. 106) von $1^1/_2$—2 cm

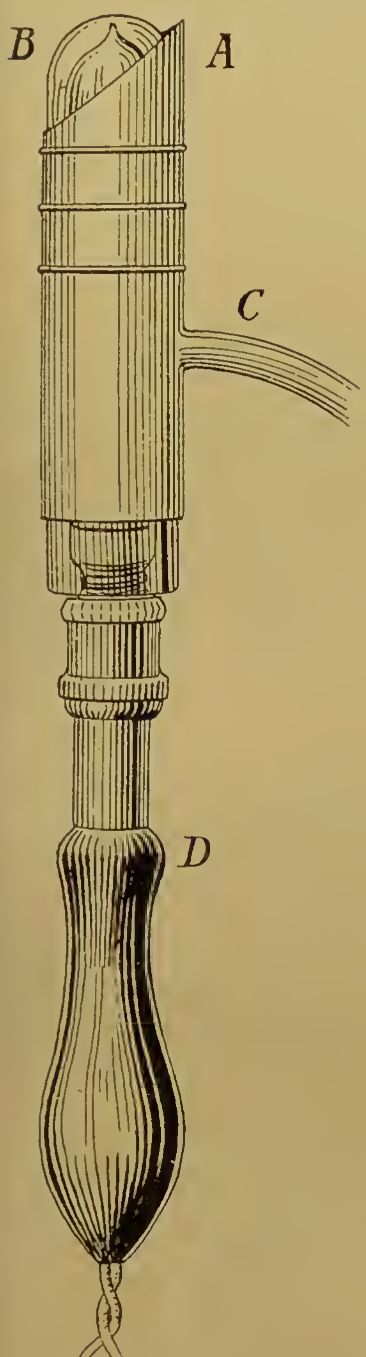


Figur 105. Methode zur Demonstration des Klappenspiels am Ochsenherzen, nach Gad.

Diameter und ein Messingrohr von $^1/_2$—1 cm Diameter, welche in derselben Hülse *A* aus Messing eingekittet sind, eingebunden. Das Glasrohr ist an dem inneren Ende zugeschmolzen, an dem äußeren aber offen; das Messingrohr ist an beiden Enden offen. Beim Versuch wird eine zylinderförmige elektrische Lampe *D* von 16 Kerzen in das Glasrohr eingeführt. Das untere Ende des Messingrohres wird durch *C* mit einem Gummiballon von etwa 100—200 ccm Inhalt armiert.

Beim Versuch wird das Herz in eine flache Wanne gelegt, damit das aus den Kranzvenen strömende Wasser nicht auf den Tisch kommt; der linke Vorhof und die linke Kammer, wie der Gummiballon werden sorgfältig mit Wasser gefüllt und dann durch periodisches Zusammendrücken des Ballons ein regelmäßiger, periodisch unterbrochener Flüssigkeitsstrom von der linken Kammer zu dem Steigrohr, der Druckflasche und dem linken Vorhof unterhalten.

Durch die Glasfenster in den Vorhofs- und Aortakanülen läßt sich dann das Klappenspiel und das Innere des Herzens genau übersehen.



Figur 106. Beleuchtungsvorrichtung zum Klappenversuch, nach C. Tigerstedt.

Zu weiteren Demonstrationen der Klappentätigkeit kann man auch Kalbsherzen benutzen.

b) Die Atrioventrikularklappen. Man wählt hierzu die rechte Hälfte des Herzens, um der sonst notwendigen Bindung der Koronararterien zu entgehen.

Man bindet also in die Arteria pulmonalis einen Pfropfen aus Kautschuk oder Holz ein und schließt diese Arterie dadurch zu; sodann legt man ein etwa 1 cm breites Band nicht zu straff um die Kammerbasis, um deren Verkleinerung bei der Systole nachzuahmen; endlich schneidet man den rechten Vorhof in einem so großen Umfang weg, daß man die Atrioventrikularöffnung und die Tricuspidalklappe gut überblicken kann.



Figur 107. Demonstration der Semilunarklappen.

Dann führt man einen mit der Wasserleitung verbundenen Schlauch durch die Atrioventrikularöffnung in die rechte Kammer hinein und läßt Wasser unter hohem Druck (dem Druck der Wasserleitung) in diese strömen. Die Kammer erweitert sich etwas, die Klappensegel legen sich aneinander, und wenn das Herz nun von der Wasserleitung entfernt wird, kann man es umdrehen und wie einen Ball auf den Fußboden werfen, ohne daß das Wasser herausfließt (Baumgarten).

c) Die Semilunarklappen. Zur Demonstration der Semilunarklappen wählt man die Lungenarterie, um nicht die Koronararterien binden zu müssen. Man bindet in die Lungenarterie eine, zur Vorbeugung des Abgleitens mit einem Rand versehene Messingröhre ein

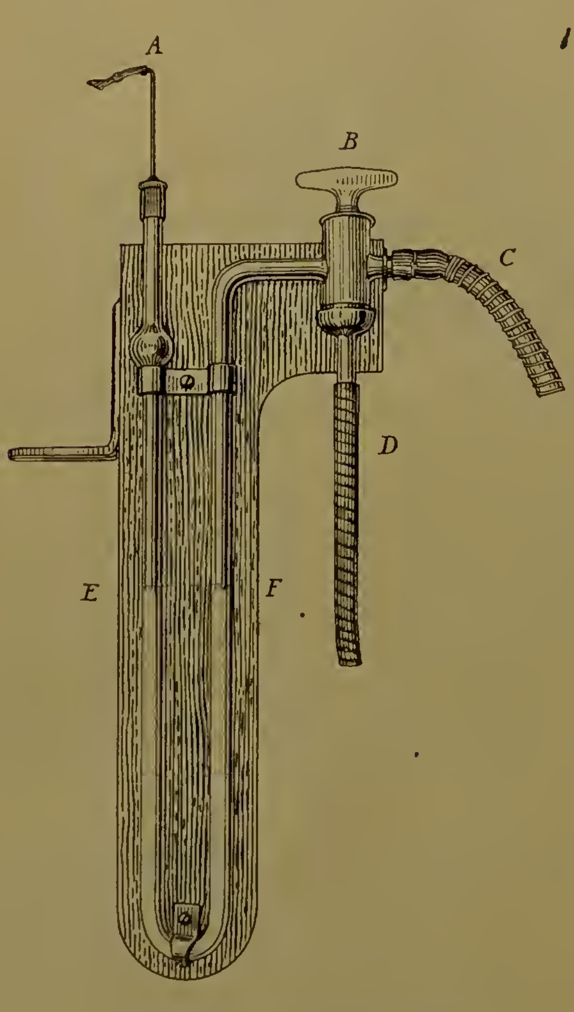
und präpariert die Arterie möglichst vollständig frei von der umgebenden Muskulatur. Dann verbindet man die Röhre mit dem unteren, sehr kurzen Schenkel einer U-förmigen Glasröhre (Fig. 107). Die Semilunarklappen stehen also nach oben. Man füllt die Röhre mit Wasser und läßt die Luft durch die Pulmonalismündung entweichen. Die Klappen stellen sich und lassen sich leicht beobachten. Auch kann man unschwer nachweisen, wie sie sich gegeneinander anschmiegen, wenn man mit einer stumpfen Nadel den einen oder anderen Zipfel verschiebt.

5. Der Druck in den Herzkammern.

a) Manometer.

Zur Bestimmung des Druckes und dessen Veränderungen in den einzelnen Abteilungen des Gefäßsystems benutzt man Druckmesser, Manometer, welche je nach dem Zweck des Versuches wesentlich verschieden sein können.

Prinzipiell können sie indessen in zwei Gruppen geteilt werden, nämlich α) solche, wo der Druck durch die Niveauveränderungen einer Flüssigkeit bestimmt wird, und β) solche, wo der Druck durch die Deformation eines elastischen Körpers angegeben wird.



Figur 108. Quecksilbermanometer.

α) Das Quecksilbermanometer. Zu der ersten Klasse von Manometern gehört vor allem das Quecksilbermanometer; auch kann man, je nach dem vorhandenen Bedarf, andere Flüssigkeiten im Manometer benutzen.

Das Quecksilbermanometer besteht aus einer U-förmigen Röhre von dem in Figur 108 ersichtlichen Aussehen. Die lichte Weite der Röhre soll etwa 3—4 mm betragen. Der freie senkrechte Schenkel des Manometers *E* ist etwa 32 cm hoch; der andere Schenkel *F* ist in einer Höhe von 29 cm oberhalb seines tiefsten Punktes rechtwinklig gebogen und trägt einen mit einer Metallspirale umsponnenen Schlauch *C*, welcher das Manometer mit demjenigen Gefäß verbindet, wo der Druck gemessen werden soll; am Ende des Schlauches findet sich ein schwach

konisches Glas- oder Metallrohr zur Verbindung mit dem an der Gefäßkanüle befestigten Schlauchende. In dem horizontalen Teil dieses Schenkels findet sich noch der Dreiwegehahn *B* aus Glas, welcher je nach seiner Stellung den Schlauch *C* mit dem Manometer oder, behufs Entleerung des Schlauchinhaltes bei der Reinigung der Schlauchleitung, mit dem Schlauch *D* in Verbindung setzt; bei einer dritten Stellung wird die Verbindung zwischen der Manometerröhre selbst und dem letztgenannten Schlauch *D* hergestellt.

Das Manometer wird von dem freien Schenkel *E* her bis zu einer Höhe von etwa 15 cm mit Quecksilber gefüllt.

In den Schenkel *F* wie in den Schlauch *C* bis zu dessen freiem Ende wird eine konzentrierte Lösung von Magnesiumsulfat eingegossen. Zu diesem Zwecke verbindet man das freie Ende des Schlauches *C* mit einem Trichter, gießt darein bei offener Verbindung mit dem Manometerrohr die Magnesiumsulfatlösung und hebt den Trichter so hoch, daß das Quecksilber im Schenkel *F* nur noch wenige Zentimeter von dessen unterem Ende steht. Dann dreht man den Dreiwegehahn so, daß das Manometerrohr mit dem Schlauch *D* in Verbindung tritt: das Quecksilber stellt sich wieder auf das frühere Niveau ein, und ein Teil der im Schenkel *F* enthaltenen Luft entweicht. Man stellt das Manometer wieder mit dem Schlauch *C* in Verbindung und wiederholt die Operation so lange, bis alle Luft aus dem Schenkel *F* ausgetrieben ist und dieser mit der Lösung gefüllt ist. So gefüllt bleibt das Manometer immer fertig zum Gebrauch.

Vor jedem Versuch hat man dann den Schlauch *C* zu füllen. Dabei wird der Dreiwegehahn so gedreht, daß dieser Schlauch mit dem Schlauch *D* kommuniziert. Nachdem die Füllung der Leitung fertig ist, dreht man den Hahn so, daß der Schlauch *C* mit dem Manometer verbunden wird, und stellt nun durch Heben des Trichters einen Überdruck her, so daß die Niveaudifferenz des Quecksilbers in den beiden Schenkeln etwa 80 mm beträgt. Dadurch verhindert man den Austritt einer größeren Blutmenge aus der Arterie nach stattgefundener Verbindung mit dem Manometer. Zum Schluß schließt man das Manometer durch eine kleine Drehung des Hahnes vom Schlauche ab.

Die Bewegungen des Quecksilbers werden durch einen Schwimmer registriert, der auf dem Quecksilber ruht und an dem freien, rechtwinklig gebogenen Ende eine Schreibfeder *A* trägt (vgl. S. 50). Diesen Schwimmer macht man sich aus Aluminiumdraht und befestigt an dessen unteres Ende eine kleine Kugel aus Siegellack oder Ebonit, deren Diameter natürlich dem des Manometers entsprechen muß. Schließlich wird das untere Ende der Kugel plan abgeschmolzen oder geschliffen.

Damit die Schreibfeder immer an der Schreibfläche des Registrierapparates anliege, stellt man das Manometer ganz unbedeutend schief, bzw. drückt mittels eines von einem Gewicht beschwerten Fadens, der an einem vom Registrierapparat getragenen Arm befestigt ist, die Feder gegen die Schreibfläche.

Wegen der großen Masse des Quecksilbers kann das Quecksilbermanometer nie zur exakten Ermittlung von schnellen Druckschwankungen benutzt werden, ja, sogar die von ihm für jeden Herzschlag angegebenen Minima und Maxima sind, wie aus folgendem Versuch hervorgeht, entschieden unrichtig.

Man stellt das Manometer mittels desselben Schlauches, durch welchen er beim Versuch am Tiere mit dem Gefäß verbunden ist, mit einem Druckgefäß mit Wasser von 1—$1^1/_2$ m Höhe in Verbindung. In der Leitung findet sich ein Dreiwegehahn mit genügend weiter Bohrung, durch welchen das Manometer entweder mit der äußeren Luft oder mit dem Druckgefäß verbunden werden kann.

Am Registrierapparat registriert man zuerst bei dauernder Kommunikation zwischen Manometer und Druckgefäß den Maximaldruck; stellt dann durch den Hahn das Manometer in dauernde Kommunikation mit der äußeren Luft und registriert den Minimaldruck.

Nachdem hierdurch die wirklichen Grenzen der Druckschwankungen ermittelt worden sind, dreht man den Hahn mit der Hand ganz langsam einigemal herum und registriert die dabei auftretenden Druckvariationen.

Endlich läßt man den Hahn durch einen Motor schnell umdrehen und registriert fortwährend die Druckschwankungen.

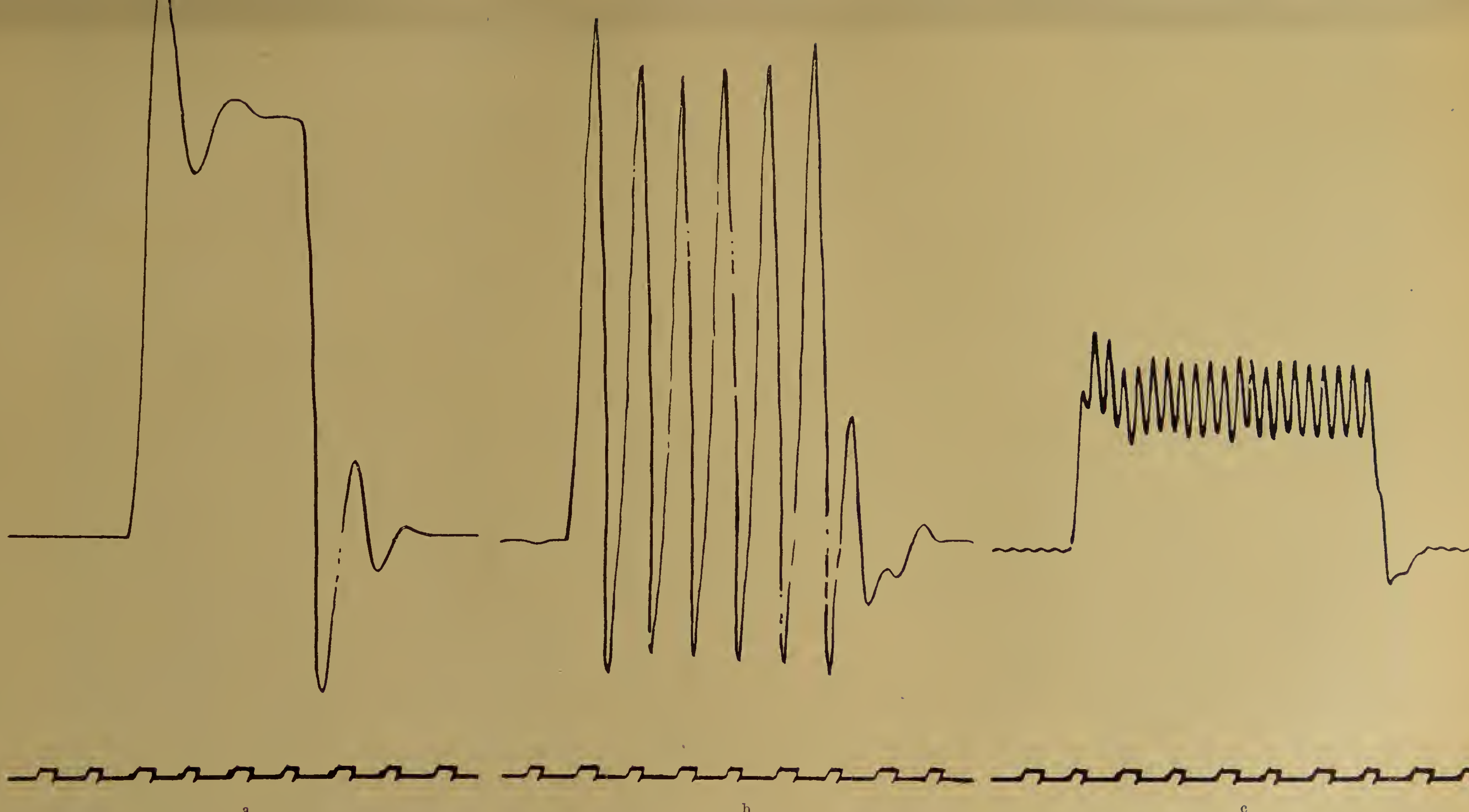
Wie aus der Figur 109 ersichtlich, sind bei langsamem Rhythmus die Maxima höher und die Minima niedriger als das wirkliche Maximum und Minimum, während andererseits bei raschem Rhythmus umgekehrt die Maxima niedriger und die Minima höher liegen als das wirkliche Maximum und Minimum.

Wenn also die vom Manometer gezeichneten Ausschläge nicht die wirklichen Druckmaxima und -minima angeben können, so können sie andererseits ziemlich befriedigende Zahlen für den in einem bestimmten Abschnitt, z. B. 10 Sekunden, stattgefundenen mittleren Druck geben, vorausgesetzt, daß keine Störungen im Verhalten des Kreislaufes währenddessen eingetreten sind.

Um den mittleren Druck aus der Kurve zu finden, hat man den betreffenden Abschnitt (Fig. 110) durch zwei vertikale Linien abzugrenzen; die von diesen, der Abszisse und der Blutdruckkurve umschriebene Fläche mittels eines Planimeters zu messen und die solcherart gefundene Zahl durch die Länge der Abszisse zu dividieren. Wenn die Maße Millimeter, bzw. Quadratmillimeter darstellen, gibt der Quotient den mittleren Blutdruck in Millimeter Hg an.

Dieses Verfahren ist indessen viel zu umständlich und kann daher nur in Ausnahmefällen benutzt werden. Gewöhnlich beschränkt man sich daher darauf, das während des betreffenden Abschnittes beobachtete Maximum und Minimum des Druckes zu messen und daraus das Mittel zu ziehen.

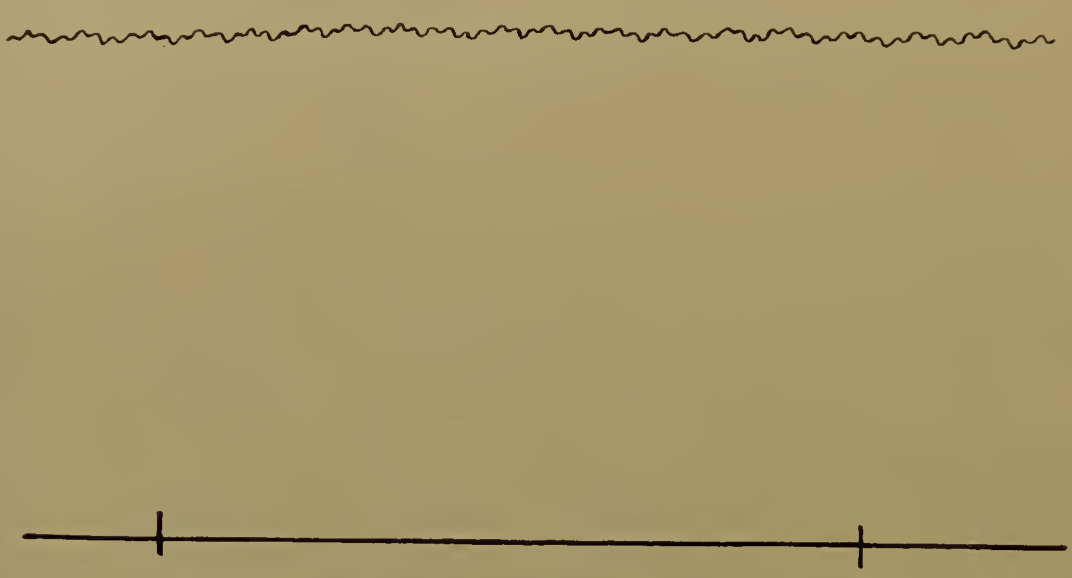
Der Durchschnittswert des Blutdruckes für einen bestimmten Abschnitt läßt sich noch bequemer erhalten, wenn man in die Manometerleitung einen



Figur 109. Prüfung des Quecksilbermanometers. a) Sehr langsame Umdrehung; b) ziemlich langsame Umdrehung; c) schnellere Umdrehung. Die untere Linie gibt Sekunden an.

genügend großen Widerstand, z. B. durch partielles Zudrehen des Hahnes *B* am Manometer (vgl. Fig. 108), einschaltet. Hierbei machen sich die den einzelnen Herzschlägen entsprechenden Druckoszillationen nicht mehr geltend, und an der Manometerkurve kann man daher den mittleren Druck direkt messen.

Im allgemeinen ist es indessen nicht zu raten, das Manometer in dieser Weise zu benutzen, denn man weiß dann niemals, ob und wann eine Gerinnung in der Manometerleitung stattgefunden hat. Bei offenem Hahn zeigen die den einzelnen Herzschlägen entsprechenden Zacken, solange sie noch da sind, unzweideutig, daß sich eine ausgiebige Kommunikation zwischen dem Gefäß und dem Manometer noch vorfindet. Außerdem ist es ja immer wichtig, auch die Frequenz der Herzschläge zu kennen, und diese läßt sich



Figur 110. Blutdruckkurve, mit dem Quecksilbermanometer geschrieben. Die Entfernung zwischen den beiden vertikalen Strichen entspricht einer Zeit von 10 Sekunden.

ja, in den allermeisten Fällen wenigstens, ohne weiteres an der gewöhnlichen Manometerkurve ablesen.

Die Abszisse des Manometers ist, wie selbstverständlich, von der Lage des Tieres in bezug auf das Manometer abhängig, und da das Tier wohl in der Regel niedriger gelagert ist als in der Höhe, bei welcher das Quecksilber in den beiden Schenkeln des Manometers auf dem gleichen Niveau steht, muß ihre Lage an der Kurve direkt bestimmt werden. Dies geschieht einfach so, daß man nach Schluß des Versuches das Herzende des Gefäßes abbindet und dann das Gefäß zwischen dieser Ligatur und der Kanüle durchschneidet: das Manometer stellt sich dabei auf die Nulllinie ein.

Da man beim Registrieren des Blutdruckes immer gleichzeitig die Zeit mittels eines elektrischen Signals angibt, dient die von diesem geschriebene Linie bei der Messung der Kurve als Nulllinie, und die gefundenen Zahlen werden dann unter Bezugnahme auf die Entfernung zwischen dieser Linie und der wirklichen Abszisse korrigiert.

Da das Quecksilber im U-förmigen Manometer bei jedem Ausschlag ebensoviel im Schenkel *F* (Fig. 108) herabsinkt, als es in *E* ansteigt, ist der

wirkliche Druck gleich dem doppelten an der Kurve gemessenen Ausschlage.

Bei der Messung der Blutdruckkurve legt man auf das Papier ein schweres Lineal aus Eisen so, daß dessen oberer Rand mit der Zeitlinie zusammenfällt, zieht für jede 10. Sekunde einen vertikalen Strich zu der Kurve und teilt also diese in Perioden von je 10 Sekunden ein. Schließlich zählt man die Zahl der während jeder Periode erschienenen Herzschläge und mißt mit einer in Millimeter geteilten Glasskala die Entfernung zwischen der Zeitlinie und dem in jeder Periode erschienenen Maximum und Minimum. Die Teilung der hierzu benutzten Skala muß etwa 100—150 mm umfassen und die Länge der Teilungsstriche soll etwa 50 mm betragen.

Es ist fast selbstverständlich, daß in solchen Abschnitten der Kurve, wo sehr starke Druckvariationen vorkommen und insbesondere wo diese außerdem noch unregelmäßig sind, die Berechnung eines mittleren Wertes nicht zulässig ist; auch die Angabe des stattgefundenen Maximal- und Minimaldruckes kann aus schon angegebenen Gründen (vgl. S. 102) irreleitend sein. Solche Abschnitte einer Kurve sind daher, wenn nötig, abzubilden oder einfach zu beschreiben.



Figur 111. Maximum- und Minimumventil.

Unter Anwendung des Quecksilbermanometers kann man den wirklichen Maximal- oder Minimaldruck völlig exakt bestimmen, wenn man in die Manometerleitung ein Maximum- oder Minimumventil einschaltet.

Ein solches ist in Figur 111 abgebildet. Es besteht aus einer mit einem Schlitz versehenen, an dem einen Ende geschlossenen Gummiröhre, die in die Manometerleitung eingesetzt und von einer Glasröhre, die die Manometerleitung fortsetzt, umgeben ist. Wenn das Ventil mit der Manometerleitung so verbunden ist, daß sich die Arterie rechts und das Manometer links befindet, kann keine Flüssigkeit aus dem Manometer in die Arterie eindringen, wohl aber aus dieser in jenes, und das Manometer stellt sich daher schließlich auf den maximalen Druck ein. Wenn das Ventil in umgekehrter Richtung in die Leitung eingeschaltet wird, wird der Schlitz bei jeder Drucksteigerung geschlossen, und das Manometer muß sich daher schließlich auf den minimalen Druck einstellen.

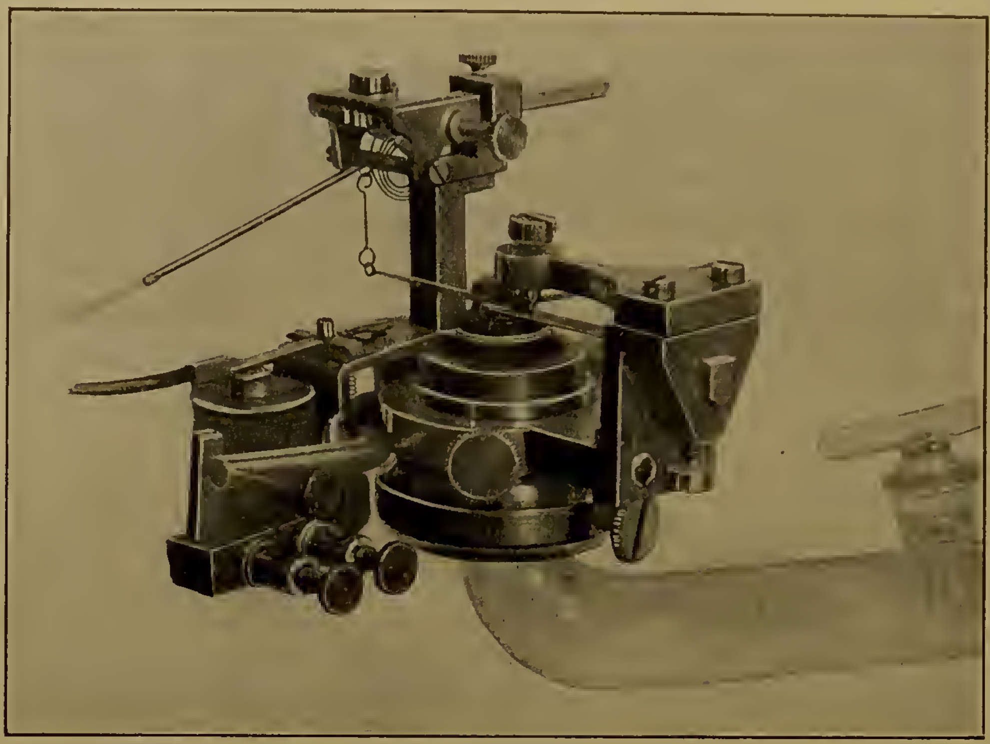
β) Elastische Manometer. Zur näheren Untersuchung über den Verlauf der Druckschwankungen im Gefäßsystem sind Manometer zu benutzen, bei welchen dem Blutdruck ein elastischer Widerstand geleistet wird.

Unter diesen sind die von O. Frank auf Grund eingehender Untersuchungen über die Theorie der Wellenzeichner konstruierten als die bei weitem zuverlässigsten in erster Linie zu besprechen.

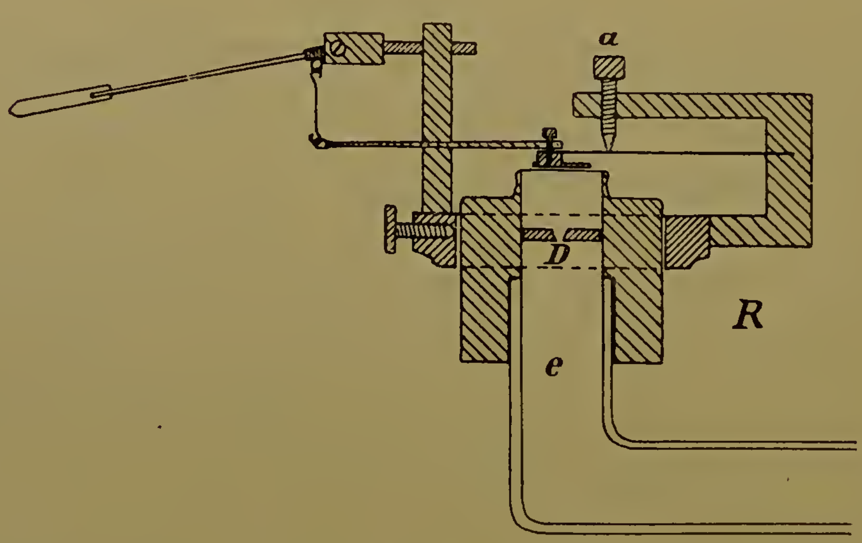
Hier sind alle freien Schlauchverbindungen vermieden, und der Manometerkörper wird direkt an die Gefäßkanüle — Metall gegen Glas — gebracht.

Der Grundkörper des Hebelmanometers (Fig. 112) ist in derselben Weise wie der des unten zu beschreibenden Spiegelmanometers gebaut, weshalb hier auf die Beschreibung desselben verwiesen wird (S. 107).

Die Mündung des vertikalen Schenkels *e* dieses Grundkörpers ist mit einer Kautschukmembran überzogen, welche ihrerseits den Hebelapparat be-



Figur 112a.



Figur 112b.

Figur 112. Hebelmanometer, nach Frank.

einflußt. Der Grundteil des letzteren ist ein Ring *R*, der um die vertikale Röhre gedreht werden kann. Von diesem Ring geht nach rückwärts ein Arm aus, an dem die Feder und der erste Hebelarm befestigt ist. Die Feder ist 4 mm breit und 0.2 mm dick. Sie ist in ihrem Träger durch Schrauben unverrückbar festgeklemmt und schlägt nach oben gegen den Anschlag *a*. Der Anschlag besteht aus einer Schraube, die in der Richtung

der Feder verschoben werden kann, damit die nötige Empfindlichkeit genau erhalten wird. Die Entfernung von der Befestigungsstelle der Feder bis zu dem Anschlag beträgt 2 cm. An dem vorderen Ende der Feder ist unverrückbar eine Metallpelotte von 8 mm Durchmesser angebracht. Das vordere Ende der Feder ist an einer oberen Rinne dieser Pelotte festgeschraubt. Die Entfernung des Anschlages von der Pelotte beträgt 5 mm. Nach vorn ist in die Pelotte ein Stahlhebelchen eingeführt, das am vorderen, breit geschlagenen Ende eine Öse trägt. Die Öse befindet sich in 2.4 cm Entfernung von der Mitte der Pelotte.

Dieser Hebel ist mit einem zweiten Hebel durch einen aus feinem Stahldraht gebildeten Doppelhaken verbunden. Der zweite Hebel wird durch eine Spiralfeder nach oben gezogen und ist aus dünnstem Stroh gebildet; an seiner Spitze trägt er eine Schreibfeder aus Papier. Die Achse des Hebels II befindet sich in einem drehbaren Lager und kann durch eine Schraube so fein eingestellt werden, daß der Hebel mit geringster Reibung auf dem berußten Papier schreibt.

In die Manometerkapsel kann eine Scheibe *D* mit einer feinen konischen Öffnung festgeklemmt werden, wenn die Schwingungen gedämpft werden sollen.

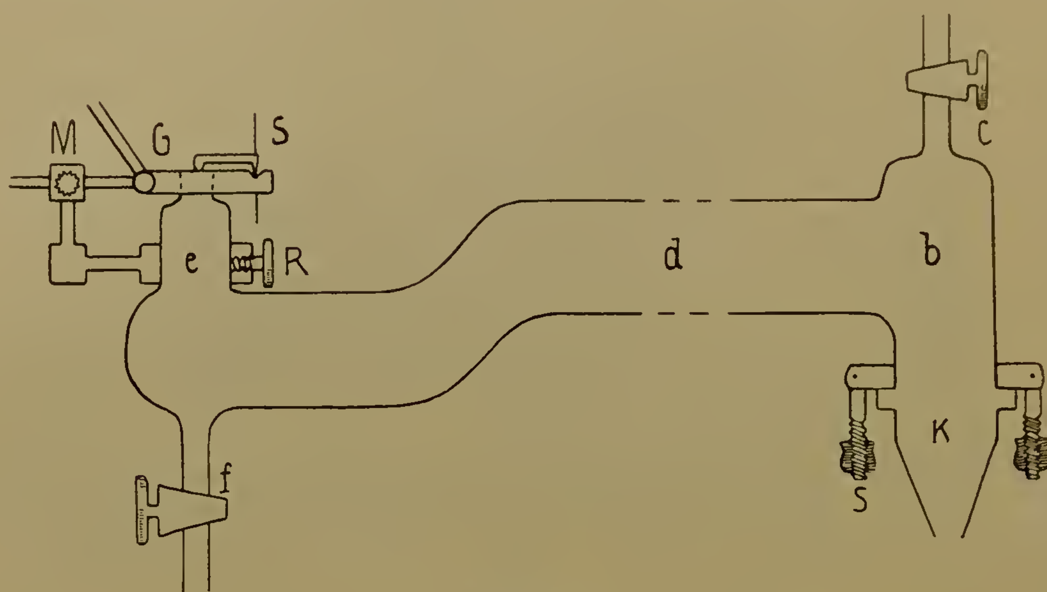
Beim Aufbinden der Kautschukmembran entfernt man den Hebelapparat und füllt das Manometer mit Wasser, bis sich ein Meniscus über das Niveau der Mündung der Röhre *e* erhebt. Dann wird die Kautschukmembran vorsichtig aufgelegt, so daß keine Luftbläschen eindringen, und dann festgebunden. Wenn die Membran einmal aufgebunden ist, darf der Manometerkörper nicht entleert werden, denn beim Wiederfüllen derselben ist es nicht möglich, das Stehenbleiben von Luftblasen unterhalb der Membran zu verhindern.

An dem Manometerrohr ist unterhalb des Hebelapparates noch ein Elektromagnet befestigt, dessen Hebel gerade unter dem Manometerhebel schreibt und zur Zeit- oder Reizmarkierung dient.

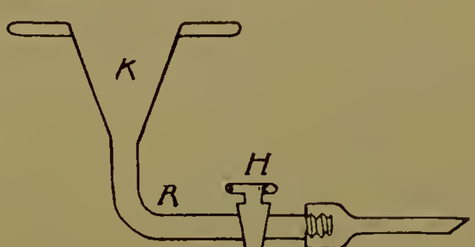
In dem zur photographischen Registrierung von Frank gebauten Spiegelmanometer ist der Grundkörper aus Glas und besteht (vgl. Fig. 113) ganz wie beim Hebelmanometer aus einem horizontalen Hauptteil, dem sich zwei vertikale Endstücke anschließen. Der senkrecht gestellte Röhrenteil *b* trägt an seinem unteren Ende den Metallkonus *K* zur Verbindung mit der Gefäßkanüle. An ihn kann luft- und wasserdicht der Konus *K* der Kanüle Figur 113b angeschlossen werden. Das Zusammenpressen der beiden Konusse wird durch zwei Schrauben *S* bewirkt, die von einem Ring herabhängen. Der Ring dreht sich über einen Vorsprung des Konus der Manometerröhre. Durch diese Vorrichtung wird erzielt, daß die Kanüle in beliebigem Winkel um die Achse des Konus gedreht werden kann. An dem freien Ende der am Konus *K* (Fig. 113b) befestigten Röhre wird die Gefäßkanüle mittels eines Schlauches verbunden, so daß Metall und Glas dicht aneinander in Berührung kommen.

Die Röhre *b* wird oben durch den Hahn *c* geschlossen, welcher zur Entfernung von Luftbläschen dient, die bei dem Anschluß der Kanüle in der Röhre *b* eventuell aufsteigen. Sie werden am einfachsten mittels eines sehr dünnen, durch den Hahn hineingeführten Drahtes entfernt. Auch kann man die Bläschen durch Flüssigkeit, die aus einem kleinen, an *f* angeschlossenen Reservoir strömt, verdrängen.

An die Röhre *b* schließt sich das Hauptstück *d* an. Es geht durch einen Knick oder durch eine schief abwärts gerichtete Neigung in den senkrecht gerichteten Röhrenabschnitt, der den elastischen Widerstand und die



Figur 113a.



Figur 113b.

Figur 113. Spiegelmanometer, nach Frank.

Schreibvorrichtung trägt, über. Der Knick soll ermöglichen, daß die Röhre *e* bei längerem Gebrauch des Manometers mit Flüssigkeit gefüllt bleibt, ohne daß Luftblasen eindringen können.

Auf dem verschmälerten Kopf von *e* ist die enge Manometerkapsel aufgekittet. Sie ist mit einer Gummimembran luftblasenfrei überbunden. Das Eindringen von Luftblasen bei dem Aufbinden der Membran vermeidet man, wie beim Hebelmanometer, sehr einfach dadurch, daß die Röhre *e* bis zum obersten Rand mit Flüssigkeit gefüllt wird, so daß ein konvexer Meniscus entsteht, über welchen die Membran, ohne daß Luftblasen dazwischentreten, leicht aufgebunden werden kann.

Die Registriervorrichtung ist hier folgendermaßen gebaut. Die Röhre *e* trägt, um ihre senkrechte Achse drehbar, ein Gestänge, an dem die Gabel *G*

befestigt ist. In die eine ihrer Zinken ist eine keilförmige Vertiefung, in die andere ein Konus zur Lagerung der Spitzen des Spiegelgestells *S* eingestanzt. Die Gabel kann um eine horizontale Achse gedreht werden, wodurch die Nullstellung des Spiegels und des von ihm reflektierten Lichtstrahls in der Höhe verändert werden kann.

Die Dimensionen des Systems sind folgende: Lumen der Manometerröhre 1.55 cm; Höhe des Manometerkonus 1.1; untere Öffnung 0.6 weit; Länge der Röhre *d* bis zur Biegung 5.5; Länge der Hauptröhre *d* bis zur Biegung unterhalb *e* 31; Höhe des Röhrenstückes *e* 1.5; Durchmesser 0.5; Höhe der Kapsel 0.35; Weite 0.3 cm.

Der Durchmesser des 0.2 mm dicken Spiegels beträgt 1 cm. Sein Gestell besteht aus Aluminium, die Hebellänge ist 1 cm. Das auf die Membran aufgeklebte Glasplättchen hat einen Durchmesser von gut 2 mm und ist knapp 0.2 mm dick.

Das viel angewandte Manometer von Hürthle ist in seiner neuesten Konstruktion folgendermaßen gebaut (Fig. 114).

Das Manometer besteht aus zwei Teilen, nämlich der Vorrichtung zur Messung und Registrierung des Druckes (*O*) und der Vorrichtung zur Zuleitung des Druckes (Z_1 Z_2, Fig. 114 a).

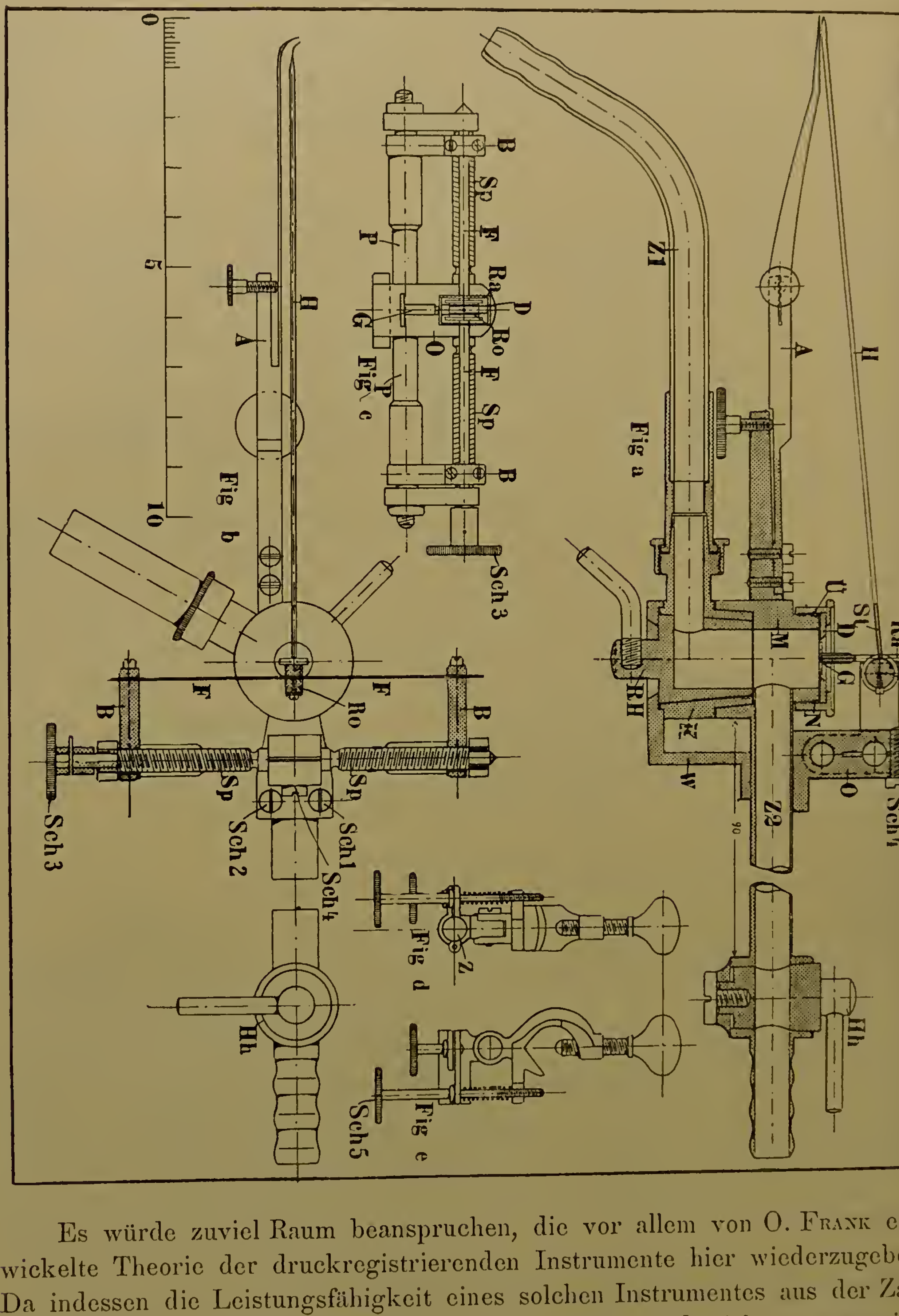
Erstere besteht aus einer Vorrichtung zum Spannen einer dünnen Stahllamelle (*F F*, Fig. 114 b und c), welche durch Torsion in Anspruch genommen wird und mit dem Hebel *H* fest verbunden ist. Die Spannung und die Länge der Lamelle werden durch die Schraube Sch_3 geregelt.

Um den Druck von dem durch eine dünne Gummimembran *N* abgeschlossenen Manometerkörper *M* auf die Stahllamelle zu übertragen, sitzt auf der Membran eine Grundplatte *G* von 7 mm Durchmesser. Mittels eines aus ihrer Mitte sich erhebenden Zapfens und eines daran verschraubten Rahmens wird sie durch einen Faden mit der Rolle *Ro* verbunden. Ihrerseits ist diese auf der Mitte der Stahllamelle derart festgeklemmt, daß letztere die Achse der Rolle bildet. Die Vorderfläche der Rolle trägt den 120 mm langen Schreibhebel *H*, welcher die Ausschläge vierzigfach vergrößert. Die Abzisse wird durch den Schreibhebel *A* geschrieben.

Der untere Teil des Manometerkörpers *M* wird von einer Dämpfungsvorrichtung eingenommen. Diese besteht darin, daß die Zuleitungsröhre Z_1 des Manometers bis auf eine in der Achse liegende kreisförmige Öffnung von 0.6 — 0.4 mm Durchmesser verschlossen wird. Um diese Dämpfung gegen die volle Öffnung der Zuleitungsröhre (7 mm) vertauschen und das Manometer auch vollkommen abschließen zu können, befinden sich die Dämpfungslöcher in dem Mantel des Hohlkegels *RH*. Dieser Mantel hat auf dem ersten Quadranten ein Loch von 7 mm Durchmesser, auf dem zweiten ein solches von 0.6 mm und auf dem dritten von 0.4 mm Durchmesser; der vierte Quadrant ist geschlossen.

Zur Füllung des Manometers und zur Druckzuleitung dienen die Röhren Z_1 und Z_2.

Zur photographischen Registrierung wird der Hebel *H* durch einen kürzeren von etwa 30 mm Länge, an dessen Spitze ein feiner Glasfaden von etwa 0.02—0.06 mm Durchmesser und 3 mm Länge angeklebt ist, ersetzt. Das Bild des Glasfadens wird photographiert.

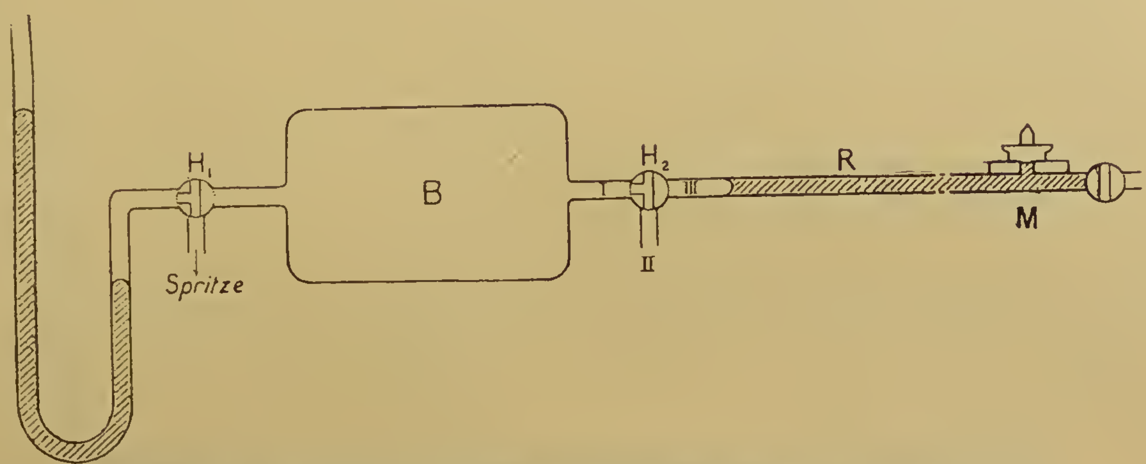


Figur 114. Elastisches Manometer, nach Hürthle.

Es würde zuviel Raum beanspruchen, die vor allem von O. Frank entwickelte Theorie der druckregistrierenden Instrumente hier wiederzugeben. Da indessen die Leistungsfähigkeit eines solchen Instrumentes aus der Zahl seiner Eigenschwingungen beurteilt werden kann, finde ich es angezeigt,

die Art und Weise zu erwähnen, wie diese Zahl bestimmt wird. Hierbei ist zu bemerken, daß nicht allein das Instrument an und für sich, sondern auch die ganze Manometerleitung bis zu der im Gefäß eingebundenen Kanüle inkl. als zum Manometer gehörig erachtet werden muß.

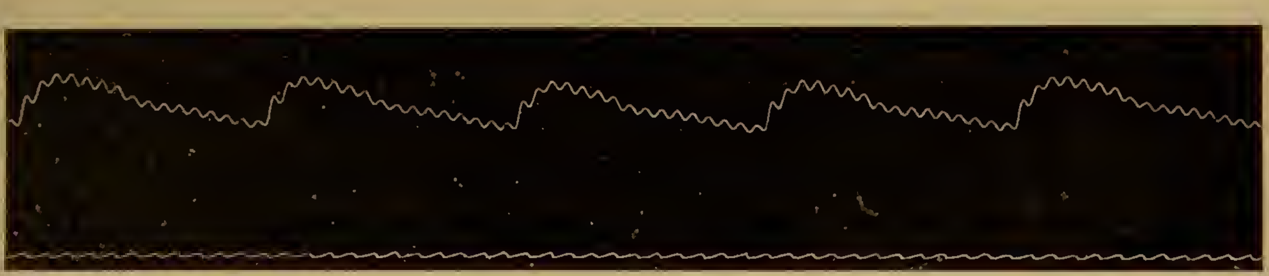
Die von O. Frank zur Bestimmung der Schwingungszahl ersonnene Vorrichtung besteht aus einer mit Luft gefüllten Glasflasche, die durch zwei



Figur 115. Apparat zur Prüfung der elastischen Manometer, nach Frank.

T-Hähne H_1 und H_2 abgeschlossen ist (Fig. 115). Durch den Hahn H_1 kann die Flasche mit einem Quecksilbermanometer oder mit einer Luftspritze, Fahrradpumpe oder dergleichen, durch den Hahn H_2 entweder mit dem Manometersystem M oder mit der äußeren Luft verbunden werden. Der Versuch wird folgendermaßen ausgeführt.

Der Druck im Manometersystem wird auf den äußeren Luftdruck gebracht. Dann wird in der Flasche B zunächst ein bestimmter Druck



Figur 116. Die Eigenschwingungen bei Franks Hebelmanometer bei der Schreibung des Aortadruckes beim Kaninchen. Die Stimmgabelschwingungen geben $^1/_{50}$ Sek. an. Die Schwingungszahl des Manometers beträgt hier etwa 72 pro Sekunde.

durch die Pumpe erzeugt und am Hg-Manometer abgelesen; dabei ist der Hahn H_2 geschlossen. Nun wird der Hahn H_1 seinerseits geschlossen und der Hahn H_2 plötzlich geöffnet, und also die Flasche mit dem zu prüfenden Manometer verbunden, wodurch dessen Eigenschwingungen erregt werden. Dann kann man wieder Schwingungen um die Nulllage durch Herstellung der Kommunikation des Manometerraumes mit der äußeren Luft erregen.

Zuweilen erscheinen die Eigenschwingungen des Manometers, wie in Figur 116 (Hebelmanometer), selbst während der Registrierung des Blutdruckes. Die Schwingungszahl beträgt hier 72 in der Sekunde. Bei dem optischen Manometer von Frank ist die Schwingungszahl 180 in der Sekunde (vgl. Fig. 117).

Eichung der elastischen Manometer. Um ein elastisches Manometer in absolutem Maß, Millimeter Quecksilber, zu eichen, verbindet man das Manometer mittels eines Schlauches mit einem Druckgefäß und füllt die ganze Leitung mit Wasser unter sorgfältiger Entfernung aller Luftblasen. Dann stellt man das Druckgefäß so, daß dessen Wasserspiegel im Niveau mit der Manometermembran steht, und registriert am Registrierzylinder den dabei entstehenden Ausschlag. Danach erhöht man das Druckgefäß um je 150 mm und registriert für jeden Stand desselben bis zu einer Höhe von 1500 mm den Manometerausschlag. Es ist dabei sehr zweckmäßig, ein gewöhnliches Meßband an der Wand zu befestigen und in bestimmten Ent-



Figur 117. Die Eigenschwingungen bei Franks Spiegelmanometer bei einer Druckschwankung von 200 mm Hg, nach C. Tigerstedt. Die Entfernung zwischen den weißen Linien entspricht einer Zeit von $^1/_3$ Sek.

fernungen Nägel für das Druckgefäß einzuschlagen. Dann findet die ganze Eichung in ein paar Minuten statt.

Weil die Druckwerte im allgemeinen in Millimeter Quecksilber angegeben werden, sind die gewonnenen Zahlen von Wasserdruck auf Quecksilberdruck zu reduzieren (spez. Gew. des Quecksilbers 13.6).

Aus verschiedenen Gründen ist es, wenn genaue Bestimmungen in absolutem Maße gemacht werden sollen, empfehlenswert, das Manometer nach jedem Versuch zu eichen.

γ) Das Verhindern der Gerinnung. Bei allen hämodynamischen Versuchen wirkt die Gerinnung leicht sehr störend ein.

Um ihr vorzubeugen, muß man bei der Präparation jede Zerrung des Gefäßes möglichst vermeiden, denn je vorsichtiger die Präparation stattfindet, d. h. je weniger die Gefäßintima dabei beschädigt wird, um so sicherer bleibt die Gerinnung in dem zum Versuche benutzten Gefäß selber aus. Dazu scheint auch die Vermeidung jeder Knickung usw. des Gefäßes wesentlich beizutragen, wie ja die Arterie gar nicht gedehnt

oder gedreht werden darf, denn in diesem Falle wird die Verbindung mit der Manometerleitung verengt, was nur Unannehmlichkeiten verursacht.

Beim Versuch dringt fast immer eine größere oder kleinere Blutmenge in die Kanüle bzw. in die Manometerleitung ein und erleidet hier leicht eine Gerinnung. Um dies zu vermeiden, füllt man Manometerleitung und Kanüle mit einer konzentrierten Lösung von Magnesiumsulfat, die sich unter den zu diesem Zwecke vorgeschlagenen Flüssigkeiten wohl am besten bewährt hat.

Sicherer wird beim Versuch über den Blutdruck die Gerinnung des Blutes vermieden, wenn man ins Gefäßsystem Substanzen injiziert, welche dem Blute dessen Gerinnungsvermögen rauben. Für kleinere Tiere, wie das Kaninchen, eignet sich hierzu vor allem der Extrakt aus den Munddrüsen des medizinischen Blutegels, welcher unter dem Namen Hirudin käuflich (bei Sachsse & Comp., Leipzig) zu erhalten ist. Man gibt den Tieren davon 0.001 g auf eine Blutmenge von 7.5 ccm. Bei einem mittelgroßen Kaninchen von 1500—2000 g Körpergewicht mit einer berechneten Blutmenge von 75—100 ccm kann man sich im allgemeinen mit 0.01 g, d. h. mit dem Inhalt einer Röhre, begnügen. Bei nur kurzdauernden Versuchen ist das Hirudin indessen kaum nötig.

Da das Hirudin sehr kostspielig ist, wird es wohl nur in seltenen Ausnahmefällen bei größeren Tieren benutzt; statt dessen kommt hier das „Pepton“ (Albumosenmischung) in Betracht. Am Hunde injiziert man intravenös 0.3 g pro Kilogramm Körpergewicht. Die Injektion soll schnell gemacht werden, denn bei langsamer oder stufenweise erfolgender Injektion wird die Gerinnungsfähigkeit nicht aufgehoben.

Da bei der Anwendung eines elastischen Manometers, selbst bei großen Druckvariationen, nur ganz wenig Blut in die Manometerleitung gelangt, genügt es hier, die Kanüle allein mit der gerinnungshemmenden Flüssigkeit zu füllen und das Manometer selbst einfach mit einer physiologischen Kochsalzlösung zu beschicken.

Wenn bei der Anwendung des Quecksilbermanometers infolge einer Drucksenkung etwas von der Magnesiumsulfatlösung ins Gefäßsystem hineinkommt und dann in zu starker Konzentration dem Kopfmark zugeführt wird, wird die Atmung schwer beschädigt und kann ganz aufhören. Um das Tier dabei nicht zu verlieren, muß man schnell die Tracheotomie machen und künstliche Atmung einleiten.

Bei trotz allen Vorsichtsmaßregeln eintretender Gerinnung kann man, bei der Anwendung des Quecksilbermanometers, durch Druck auf den Schlauch bzw. auf das Gefäß das Gerinnsel zerdrücken und solcherart die Registrierung des Druckes noch einige Zeit fortsetzen. Indessen stellt eine schon eingetretene Gerinnung immer ein gefährliches Zeichen dar, weil sich die Gerinnung, auch wenn das erste Gerinnsel zerdrückt worden ist, nach einer kurzen Zeit wieder einstellt und man nie ganz sicher sein kann, daß

nicht etwas vom Gerinnsel in der Kanülenmündung noch stehen geblieben ist und also dieselbe verengt.

Wegen des Fehlens jeder elastischen Verbindung ist das Zerdrücken des Gerinnsels bei den elastischen Manometern nicht möglich, und man hat dann nur den Ausweg, der schließlich auch bei dem Quecksilbermanometer eingeschlagen werden muß, nach Anlegung einer Pinzette um das Gefäß die Verbindung mit dem Manometer zu lösen und die Kanüle dann sorgfältig zu reinigen, wobei sie eventuell aus dem Gefäß herausgenommen werden muß.

b) Bestimmung des Druckverlaufes in den Kammern des Kaninchenherzens.

Man präpariert in der oben angegebenen Weise (S. 17) die V. jugularis ext. dextra, legt eine Pinzette herzwärts, bindet sie kopfwärts an ihrer Verästelung ab, behält den Faden als Handgriff und eröffnet die Vene. Dann führt man eine schon vorher mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllte, an ihrem äußeren Ende mit einer Pinzette geschlossene und mit Vaseline gefettete Silbersonde von $2^1/_2$ mm Dicke in die Vene ein. Die Sonde wird mittels eines Fadens nicht zu stark in die Vene gebunden, die Klemmpinzette entfernt und die Sonde mit der rechten Hand nach dem Herzen zu ohne Gewalt geführt, während das Gefäß mit der linken Hand erfaßt wird.

Nun zeigt es sich, daß die Sonde entweder sogleich, gewissermaßen von selbst durch die Vene ins rechte Herz gleitet, oder überhaupt gar nicht ins Herz einzuführen ist, was wahrscheinlich durch irgendwelchen schiefen Verlauf des Gefäßes bedingt ist. Wenn die Sonde also nicht nach wenigen Manipulationen den richtigen Weg findet, ist es zu raten, den Versuch zu unterbrechen und das Tier zu anderen Zwecken zu benutzen, denn wiederholte Versuche, die Sonde ins Herz zu bringen, bewirken nur, daß die Vene irgendwo von ihr durchstochen wird.

Daß die Sonde in die rechte Kammer gelangt ist, gibt sich dadurch zu erkennen, daß ihr äußeres Ende synchron mit dem Herzen ausgiebige Bewegungen macht. Um darüber sicher zu sein, daß die Sonde nicht gegen die innere Wand der Kammerspitze anstößt, ist es zweckmäßig, sie etwas nach außen zu ziehen. Solange die kräftigen Bewegungen der Sonde vorhanden sind, ist die Sonde jedenfalls in der Kammer; in den Vorhof gelangt, bleibt die Sonde ziemlich ruhend.

Nachdem die Sonde die richtige Lage erreicht hat, wird die Ligatur um die Vene fest zugezogen, die Sonde unter Vermeidung jedes Lufteintritts mit dem Manometer verbunden und endlich die an ihrem äußeren Ende angebrachte Pinzette weggenommen.

Sicherer, wenn auch zeitraubender, ist die Einführung einer Kanüle in die Herzkammer von dem Vorhofe aus. Hierbei muß in oben dargestellter Weise (S. 93) der Brustkasten weit eröffnet und das Herz auf das Pericardium als Unterlage gelagert werden.

Man faßt dann mit einer feinen Pinzette einen ganz kleinen Zipfel an dem Außenrand des Vorhofes und bindet um diesen einen feinen Faden; in etwa 5—8 mm Entfernung davon bindet man am Rande desselben Vorhofes einen zweiten Faden fest und hat in diesen Fäden die Handgriffe, welche bei dem Einführen der Kanüle nötig sind.

Nun legt man um den Vorhof, möglichst nahe der Scheidewand, mit Hilfe eines Ligaturstabes (S. 15) eine provisorische Ligatur, eröffnet die Höhle des Vorhofes durch einen Schnitt am Rande zwischen den beiden Fäden, sucht mit einer rechtwinklig gebogenen stumpfen Nadel die in dem geöffneten Vorhof verlaufenden Trabekeln auf und durchtrennt sie mit einer feinen Schere. Endlich hält man einen Faden zur Einbindung der Kanüle bereit.

Die Kanüle soll aus Metall bestehen und möglichst kurz sein, einen äußeren Durchmesser von 3 mm haben und rechtwinklig gebogen sein. Das äußere Ende soll mit einem durch eine Pinzette geschlossenen Schlauch zur Verbindung mit dem Manometer armiert und mit einigen Einkerbungen zum Binden des Fadens versehen sein. Vor der Einführung soll die Kanüle mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt werden.

Der Operateur führt die Kanüle in den Vorhof hinein, während der Assistent die beiden Fäden so hält, daß die Öffnung leicht zugänglich ist. Nachdem dies geschehen ist, werden die Fäden nach außen (senkrecht gegen die Längsrichtung des Tieres) gezogen, ein Faden nicht zu fest um die in den Vorhof eingeführte Sonde gebunden, der um den Vorhof gelegte Faden am Ligaturstab durchschnitten und die Kanüle durch die Atrioventrikularöffnung geführt. Dabei muß man, zur Verhinderung der Blutung, mit den Fingern die Vorhofswand um die Kanüle abschließen. Nachdem die Kanüle in die Kammer gelangt ist, wird sie durch einen um das Herzohr gelegten Faden dort festgebunden.

Damit die Kanüle die richtige Lage behalte, wird ihr äußeres Ende von einem kleinen, am Operationsbrett festgesetzten Stativ getragen (vgl. S. 41, Fig. 45).

Da bei diesem Versuche die künstliche Atmung unterhalten werden muß, und infolgedessen die Lungen während der verschiedenen Respirationsphasen verschieden stark aufgeblasen werden, kann das Herz dadurch beeinflußt werden. Es ist daher nützlich, auch bei abgestellter Atmung die Registrierung der Druckschwankungen in den Herzkammern vorzunehmen. Hierbei ist zu bemerken, daß die Registrierung während 30 Sekunden schon eine lange Reihe von Pulsen bringt, sowie daß eine so kurze Unterbrechung der künstlichen Atmung noch keinen erheblicheren Einfluß auf den Kreislauf ausübt.

Übrigens kann man auch den Einfluß der Erstickung (vgl. S. 95) auf die Druckvariationen absichtlich untersuchen, indem man die künstliche Atmung eine längere Zeit hindurch (1—2 Minuten) aufhebt.

Unter den beiden zur Einführung einer Kanüle in die Herzkammern beschriebenen Methoden scheint die zweite in der Regel vorzuziehen zu sein, teils weil sie sich an beiden Kammern anwenden läßt, teils weil bei der ersten Methode die verhältnismäßig große Länge der Sonde die Resultate unsicherer machen muß.



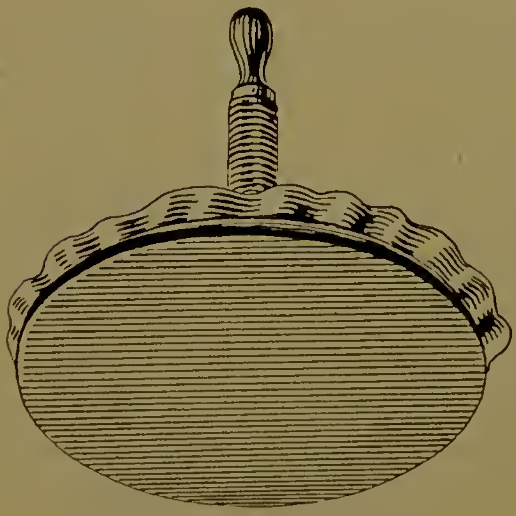
Figur 118. Druck in der linken Kammer und der Carotis (Kaninchen), mit dem Spiegelmanometer Franks geschrieben, nach C. Tigerstedt.

Als Manometer können hier nur die elastischen in Betracht kommen; wenn man das Quecksilbermanometer benutzen will, kann man nur unter Einschaltung eines Maximum- oder Minimumventils Resultate von Interesse bekommen, denn bei den großen Druckschwankungen in den Herzkammern kann das Quecksilbermanometer selbst den mittleren Druck nicht mit irgendeiner Zuverlässigkeit angeben. In Figur 118 sind mit dem Spiegelmanometer Franks registrierte Kurven des intrakardialen Druckes in der linken Kammer und der Carotis des Kaninchens reproduziert.

6. Der Herzstoß.

Im 4. oder 5. Interkostalraum links, da wo die Herzspitze in der Nähe der Brustwand liegt, macht sich die Herzbewegung durch die Brustwand hindurch deutlich bemerkbar und kann von dort aus registriert werden.

Zu diesem Zwecke hat man mehrere, mehr oder minder komplizierte Apparate konstruiert. Ich würde in dieser Hinsicht die in Figur 119 abgebildete Vorrichtung für das Praktikum wenigstens empfehlen. Sie besteht ganz einfach aus einer mit einer nicht zu dünnen Kautschukmembran überzogenen metallenen Kapsel von etwa $5^1/_2$ cm Durchmesser, welche mit einer gewöhnlichen Schreibkapsel verbunden wird. Die Kautschukmembran wird mit der Hand gegen die Brustwand gedrückt, da wo der Herzstoß gefühlt wird.

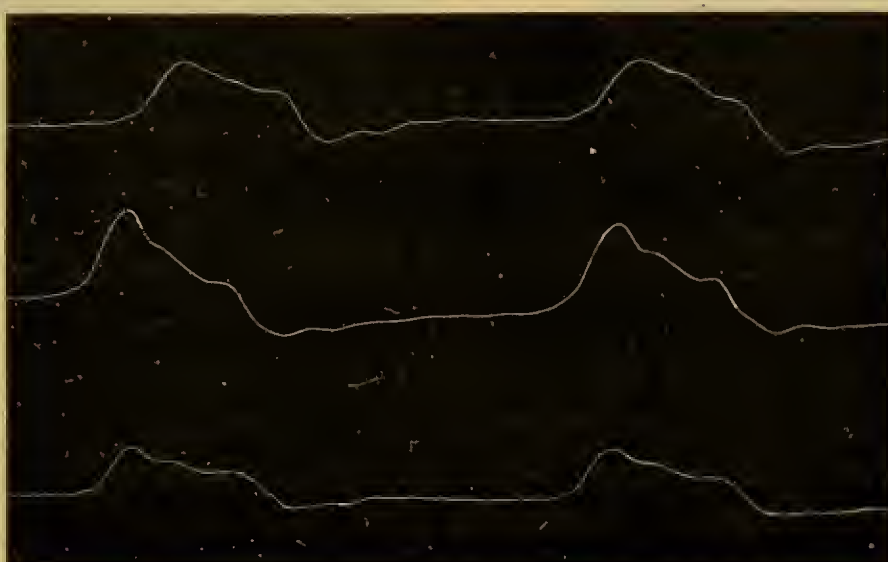


Figur 119. Kardiograph.

Bei der Aufnahme des Herzstoßes darf die Versuchsperson nicht atmen, da die Atembewegungen hier störend einwirken. Auch ist es vorteilhaft, wenn sie die linke Seitenlage einnimmt, denn dann machen sich die Bewegungen des Herzens an der äußeren Brustwand am besten geltend.

Drei in dieser Weise registrierte Kardiogramme sind in Figur 120 reproduziert.

Für die Theorie des Herzstoßes ist es sehr wichtig, daß die Kammer bei der Systole immer danach strebt, sich senkrecht gegen die Herzbasis zu stellen (vgl. S. 96), sowie daß jede Stelle der Kammerwand — vorn, hinten, seitlich, oben, unten — bei der Systole hart wird, eine Tatsache,



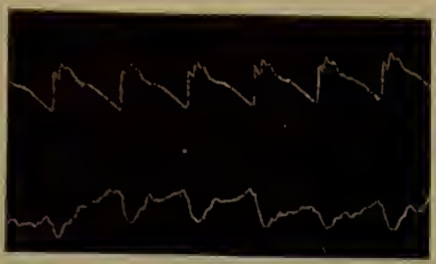
Figur 120. Kardiogramm 40 mm/Sek.

wovon man sich durch Abtasten des freigelegten Kaninchenherzens (vgl. S. 95) an verschiedenen Stellen unschwer überzeugen kann, indem man bei der Herzsystole überall die Empfindung der Härte hat und als ob das Herz den tastenden Finger zurückstoßen wolle, während die diastolisch erschlafften Herzkammern weich sind und dem tastenden Finger keinen Widerstand leisten.

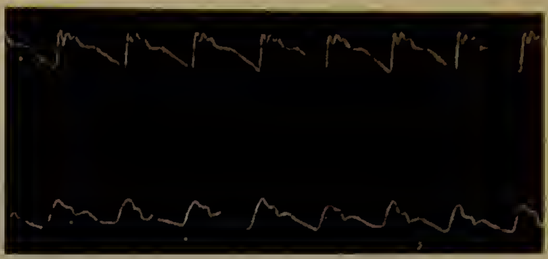
7. Die kardiopneumatische Bewegung.

Bei ihrer Zusammenziehung treibt die linke Herzkammer das Blut schneller aus, als neues Blut in die zentralen Venen hineinströmen kann, und da die intrathorakalen Arterien nicht vermögen, die ganze herausgetriebene Blutmenge zu fassen, und also ein Teil dieses Blutes schon während der Herzsystole in die extrathorakalen Arterien gelangt, nimmt die Füllung der Brusthöhle bei der Kammersystole ab, was natürlich eine entsprechende Erweiterung der Lungen bewirken muß. Bei offener Stimmritze macht sich diese Erweiterung auch in der Mund- und Nasenhöhle als eine Ansaugung geltend. Man kann sie graphisch registrieren, indem man mittels eines zwischen den Lippen und den Zahnrändern gehaltenen Schlauches die Mundhöhle mit einer Schreibkapsel verbindet. Dabei müssen natürlich die Atembewegungen stillstehen und die Nasenöffnungen geschlossen werden (Fig. 121).

Wenn der Versuch in genau derselben Weise, aber bei geschlossener Stimmritze wiederholt wird, steigt der Druck während der Kammersystole und sinkt während der Kammerdiastole (vgl. Fig. 122). Die während der Systole stattfindende Ansaugung in den Lungen kann sich nun, wegen des

a
b


Figur 121.

a
b


Figur 122.

Figur 121. Die kardiopneumatische Bewegung. *a*, der Radialispuls; *b*, die Druckschwankungen in der Mundhöhle. — Figur 122. Puls der Mundhöhle. *a*, der Radialispuls; *b*, der Puls der Mundhöhle.

Glottisverschlusses, nicht auf die Luft in der Mundhöhle geltend machen; statt dessen wird die Mundhöhlenschleimhaut wegen der vermehrten Blutzufuhr bei der Systole etwas mehr geschwollen und verengert daher in einem gewissen Grade den Raum der Mundhöhle.

8. Das ausgeschnittene Kaninchenherz.

Auch das Säugetierherz kann, vom Körper ausgeschnitten und mit einer zweckmäßigen künstlichen Nährflüssigkeit ernährt, lange Zeit leistungsfähig bleiben.

Die Präparation des Herzens zu diesem Zwecke findet in folgender Weise statt.

Man bindet Kanülen in die beiden Karotiden sowie in die V. jugularis ext. der einen Seite ein und läßt das Tier durch die beiden ersteren verbluten; während dessen ist die V. jugularis geschlossen. Nach dem letzten Atemzug läßt man, um das noch in den Herzhöhlen und den Koronargefäßen vorhandene Blut zu entfernen, eine auf Körpertemperatur erwärmte, 0.9 prozentige Kochsalzlösung oder besser, Ringer-Lösung (siehe unten) in die V. jugularis einströmen, bis sie durch die Carotiskanüle ziemlich farblos wieder ausfließt.

Nun eröffnet man den Brustkasten, indem man nach einem Hautschnitt in der Mittellinie mittels einer Schere die Rippen an beiden Seiten des Brustbeines soweit nach hinten wie möglich durchschneidet, den ganzen vorderen Teil des Brustkastens aufhebt und an der oberen Brustapertur durchtrennt. Nach Eröffnung des Pericardiums drückt man schwach auf das Herz, um die letzten Blutspuren zu entfernen, führt eine geöhrte stumpfe Nadel zwischen Aorta und Pulmonalis und zerreißt mit ihr das diese Gefäße verbindende Gewebe. Mit der Nadel führt man dann zwei Fäden um die Aorta; mit dem einen wird die Kanüle in das Gefäß ge-

bunden, der andere dient als Handgriff. Mit einer Schere macht man einen Querschnitt in die Aortawand, führt die Kanüle in der Richtung gegen das Herz ein, indem man die Öffnung mit einer Pinzette erweitert, und bindet sie mit dem schon angelegten Faden fest.

An ihrem Herzende soll die Kanüle plan geschliffen und darüber, zur Befestigung des Fadens, etwas zusammengedrückt sein. Sie darf nicht so weit in die Aorta hineingeführt werden, daß dadurch das Spiel der Semilunarklappen verhindert werden würde.

Nun schneidet man das ganze Herz heraus, indem man die Lungenarterie und, in genügender Entfernung von den Vorhöfen, die zentralen Venen durchtrennt. Mittels einer feinen Glaspipette füllt man die Aortakanüle mit körperwarmer Nährflüssigkeit und verbindet das Präparat mit dem schon vor der Präparation fertig hergestellten Apparat zur künstlichen Zirkulation.

Bei einem genügenden Druck in diesen werden die Semilunarklappen geschlossen, und die Nährflüssigkeit strömt in die offenen Koronararterien hinein; zum Unterhalten einer guten Herztätigkeit soll der Druck etwa 80 mm Hg betragen und kann im Laufe des Versuches, wenn nötig, allmählich erhöht werden. Damit sich die aus den Venen heraustretende Flüssigkeit nicht in der rechten Kammer sammelt, was die ausgiebige Kontraktion des Herzens verhindern würde, wird der rechte Vorhof zur Ableitung der Flüssigkeit eröffnet. Wenn Flüssigkeit in der linken Kammer sich von der Aortakanüle her sammeln würde, soll sie durch leichtes Zusammendrücken der linken Kammer herausgetrieben werden.

Es bietet im großen und ganzen keine Schwierigkeit dar, aus den in jedem Laboratorium vorhandenen Gerätschaften den zur künstlichen Blutströmung durch das ausgeschnittene Herz notwendigen Apparat zu improvisieren; auch sind sehr viele verschiedene Modifikationen des ursprünglich von Langendorff und Newell Martin angegebenen Apparates beschrieben worden.

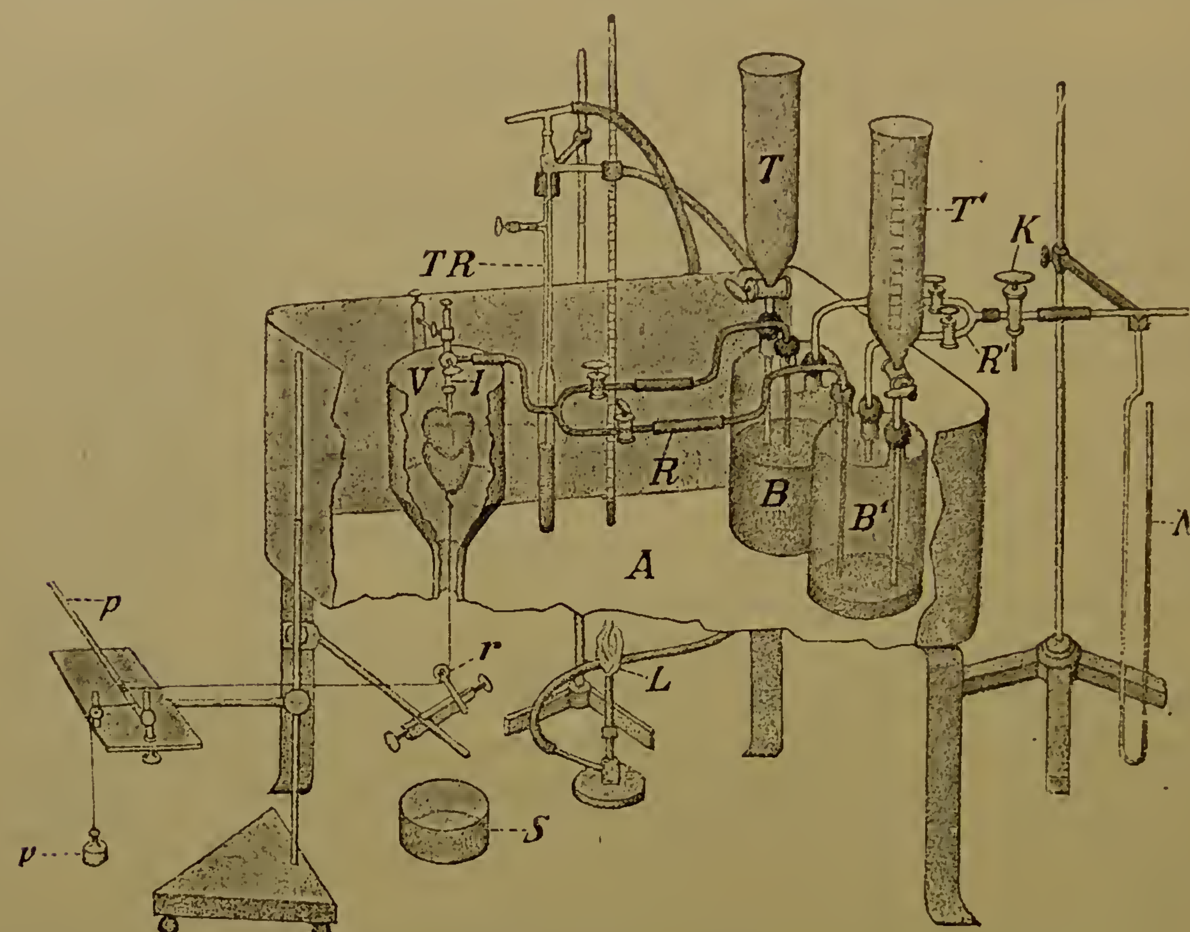
Ein ziemlich leicht herzustellender Apparat ist folgender (Fig. 123).

In einer großen Wanne aus verzinntem Eisenblech befinden sich in der aus der Figur ersichtlichen Weise der Behälter für das Herz, *V*, sowie die beiden Flaschen mit der Nährflüssigkeit *B*, *B'* und die zugehörigen Leitungen eingeschlossen. Die Wanne wird mit Wasser gefüllt und das Wasser auf Körpertemperatur erwärmt. Dies muß genügend lange vor dem Versuch stattfinden, damit die in den Flaschen eingeschlossene Flüssigkeit zu Beginn des Versuches die richtige Temperatur habe. Der Behälter, in welchem das Herz eingeschlossen ist, wird dann auch etwa die Temperatur der Flüssigkeit annehmen.

Die Leitung rechts vom Manometer, *M*, wird mit einer Wasserstrahlluftpumpe verbunden und ein am Manometer abzulesender Druck genügender Stärke hergestellt. Zu demselben Zwecke kann auch eine Druckflasche benutzt werden. Durch Öffnen der entsprechenden Hähne werden zuerst

die Flaschen *B* und *B'* von den Trichtern *T* und *T'* aus mit der anzuwendenden Flüssigkeit beschickt; dabei sind natürlich die Hähne *R* geschlossen und *R'* geöffnet; nun werden die Trichter abgeschlossen, die Hähne *R* geöffnet und die Flüssigkeit bis zu der Mündung der Herzkanüle getrieben. Alles wird jetzt abgeschlossen, bis das Herz fertig präpariert ist. Die Kanüle mit dem Herzen wird dann an einem im Apparate befindlichen Stativ festgesetzt und die eine Flasche durch Drehen der entsprechenden Hähne mit der Kanüle in Verbindung gestellt: der Versuch beginnt.

Wenn der Inhalt der einen Flasche fast verbraucht ist, wird die andere Flasche durch einfaches Umdrehen der Hähne ohne jeden Zeitverlust ein-



Figur 123. Apparat zur künstlichen Blutströmung durch das Herz, nach Hedbom.

geschaltet. Zur Füllung der ersten Flasche wird der entsprechende Dreiwegehahn *R'* so gestellt, daß der Inhalt der Flasche mit der äußeren Luft kommuniziert. Die neue Füllung kann also stattfinden, ohne daß der künstliche Kreislauf auch nur für einen Augenblick unterbrochen wird.

Zur Registrierung der Herzbewegungen hakt man mittels einer kleinen Pinzette einen Faden an die Herzspitze und verbindet diesen etwa in der aus der Figur ersichtlichen Weise mit einem Schreibhebel. Es begegnet natürlich auch keinerlei Schwierigkeit, die betreffende Registrierung unter Anwendung zweier Luftkapseln (vgl. S. 46) auszuführen.

Wenn man zur Speisung des Herzens defibriniertes Blut benutzt, muß dieses sorgfältig durch Leinwand filtriert und mit Luft geschüttelt werden.

In der Regel verdünnt man es im Verhältnis 1 : 3—4 mit physiologischer Kochsalzlösung, vor allem weil die aus einem einzigen Tiere zu erhaltenden Blutmengen sonst gar zu klein sind. Das herausfließende Blut wird in einer unten aufgestellten Schale gesammelt, geschlagen, filtriert und wieder benutzt.

Man kann aber auch zur Speisung des Herzens Salzlösungen anwenden, diese müssen aber mit Sauerstoff gesättigt sein. Dabei wird in die Leitung kurz vor der Kanüle ein T-Rohr eingesetzt, dessen unpaariger Schenkel mit einer Sauerstoffbombe verbunden wird. Kurz vor dem Beginn des Versuches wird durch dieses Rohr Sauerstoff nach den Flaschen getrieben, indem die Hähne *R*, *R'* geöffnet werden und die Leitung peripher vom T-Rohr mit einer Pinzette geschlossen wird.

Nachdem Sauerstoff in genügender Menge durch die Flaschen geströmt ist, werden der unpaarige Schenkel des T-Rohres mit einem Quetschhahn und die übrigen Hähne durch Drehen geschlossen.

Bei Anwendung einer Salzlösung sollen die Flaschen mit der Nährflüssigkeit *B*, *B'* etwa 1 l fassen.

Die aus anorganischen Salzen bestehende, beim Säugetierherzen bewährte Nährflüssigkeit (Ringer-Lösung) hat folgende Zusammensetzung:

0.01 Proz. $NaHCO_3$
0.01 Proz. $CaCl_2$
0.0075 Proz. KCl
0.8 Proz. NaCl.

Um Niederschläge zu vermeiden, sollen die Salze in der oben angegebenen Reihenfolge der Flüssigkeit zugesetzt werden.

Die Wirkung dieser Lösung wird durch Zusatz von 0.1 Proz. Traubenzucker in hohem Grade begünstigt (Locke).

Auch kann die Herztätigkeit eine Zeitlang unterhalten werden, wenn statt der Flüssigkeit gasförmiger Sauerstoff oder Wasserstoff durch die Koronargefäße getrieben wird.

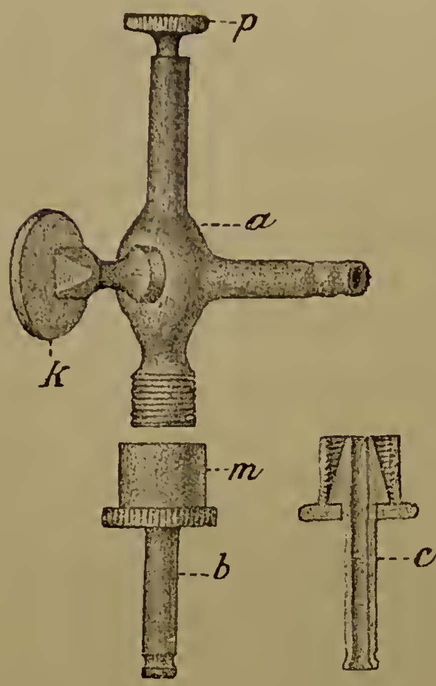
Diese Methode, das Säugetierherz durch eine Salzmischung + Sauerstoff zu ernähren, eignet sich auch dazu, ein seit mehreren Stunden stillstehendes Herz wieder zu beleben. Wenn man einmal den Apparat zusammengestellt hat, sollte man daher nicht unterlassen, diesen Versuch an einem Kaninchenherz zu machen, das 12—24 Stunden lang auf Eis aufbewahrt gewesen ist.

Die Einwirkung verschiedener Temperatur auf das Säugetierherz läßt sich durch Variation der Temperatur des Wassers in der Wanne leicht untersuchen.

Ganz besonders eignet sich diese Methode zum Studium der Einwirkung verschiedener Gifte auf das Herz. Zu diesem Zwecke kann man im oben beschriebenen Apparat die eine Flasche mit der Nährflüssigkeit, die andere mit dieser nebst dem zu prüfenden Gifte füllen.

Auch läßt sich in dieser Weise die Einwirkung verschiedener Nährflüssigkeiten leicht vergleichen.

Um eine ganz akute Giftwirkung zu erhalten, benutzt man die in Figur 124 abgebildete Kanüle, deren horizontaler Ast mit der Leitung zu den Flaschen mit der Nährflüssigkeit verbunden ist. Durch den Dreiwegehahn *K* kann die Kanüle wiederum mit dem vertikalen Ast verbunden und von diesem aus das betreffende Gift mittels einer feinen Pipette direkt in die Herzkanüle eingegossen werden.



Figur 124. Herzkanüle, nach Hedbom.

Figur 125 gibt die Kontraktionen eines isolierten Kaninchenherzens bei Speisung mit der Salzmischung wieder.

Bei einem in einem solchen Apparat, wie dem oben beschriebenen, eingeschlossenen Herzen können indessen keine operativen Eingriffe ausgeführt werden.

Um solche machen zu können, muß das Herz außerhalb des Apparates gebracht werden, was sich mit dem betreffenden Apparate dadurch ausführen läßt, daß die einfache Leitung durch eine rechtwinklig gebogene Glasröhre, die durch den Trichter läuft, nach unten fortgesetzt wird; das Herz wird an dessen unteres Ende festgesetzt und von einem Stativ getragen.

Hier kann leider die Temperatur des Herzens nicht ganz konstant erhalten werden; wenn indessen der Strom der Flüssigkeit durch das Herz keine größeren Schwankungen erleidet, wird die Temperatur des Herzens auch bei dieser Anordnung nicht allzu großen Variationen ausgesetzt werden.


Figur 125. Kontraktionen eines isolierten Kaninchenherzens. Systole nach oben. 1 mm/Sek.

An einem solchen Herzen kann man, ohne eine Blutung zu bekommen, die Außenwand der rechten Kammer entfernen, so daß die Papillarmuskeln der Scheidewand frei liegen. Wenn man die Spitze des Herzens durch eine an einem Stativ befestigte Klemme unverrückt festhält, kann man mit dem Engelmannschen Suspensionshebel die Bewegungen dieser Muskeln graphisch registrieren, indem man die chordae tendineae von der Klappe löst und den Faden zum Schreibhebel mittels einer sehr feinen Serre fine an der freien Spitze des Muskels festsetzt (vgl. Fig. 126).

An einem solchen Herzen kann man auch die Vorhöfe bis nahe an die Atrioventrikulargrenze entfernen und die Schlagfolge der Kammer vor und nach diesem Eingriff registrieren.

Direkte Reizung des Herzens mit schnell nacheinander folgenden Induktionsströmen (schwingender Feder des Induktoriums) hebt sowohl am ausgeschnittenen Herzen wie auch am Herzen in situ die normale regelmäßige Zusammenziehung der Herzmuskulatur auf, und statt dessen erscheinen unregelmäßige, wühlende, peristaltische Kontraktionswellen der einzelnen Herzmuskelfasern; das Herz fühlt sich ganz weich an und treibt kein Blut mehr in die Arterien hinein. Beim Kaninchenherzen können diese



Figur 126. Kontraktion eines Papillarmuskels beim Kaninchen; Systole nach oben. Die sekundären Erhebungen sind von den Kontraktionen des Papillarmuskels bedingt. Die Geschwindigkeit des Registrierapparates wurde bei + vergrößert.

Bewegungen nach Ende der Reizung noch eine kurze Zeit fortdauern, in der Regel hören sie schnell auf, das Herz steht einen Augenblick in der Diastole still und fängt dann an, wieder ganz normal zu schlagen. Beim Hundeherzen führen dagegen die unregelmäßigen wühlenden Zusammenziehungen in der Regel zum Tode.

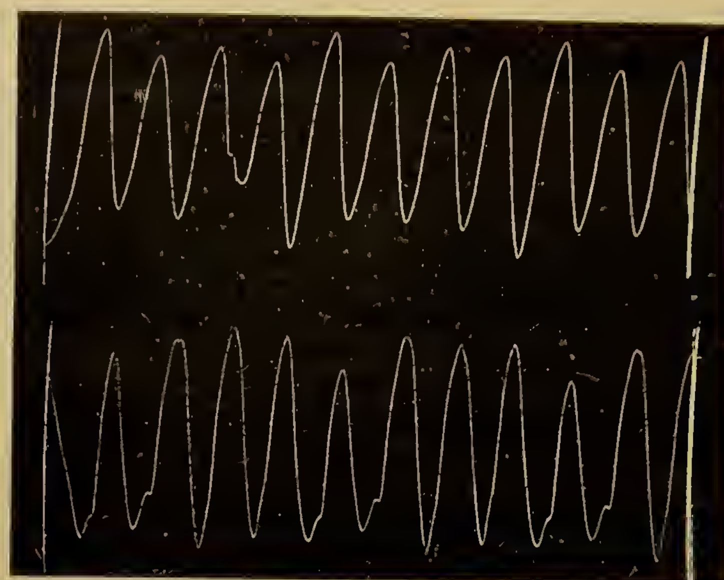
Schließlich kann man ja auch an einem ausgeschnittenen Herzen die Einwirkung einzelner Induktionsschläge, wenn sie während der verschiedenen Phasen der Herztätigkeit dem Herzen zugeführt werden, in der oben beim Froschherzen angegebenen Weise studieren.

9. Die Bedeutung der einzelnen Teile des Kaninchenherzens.

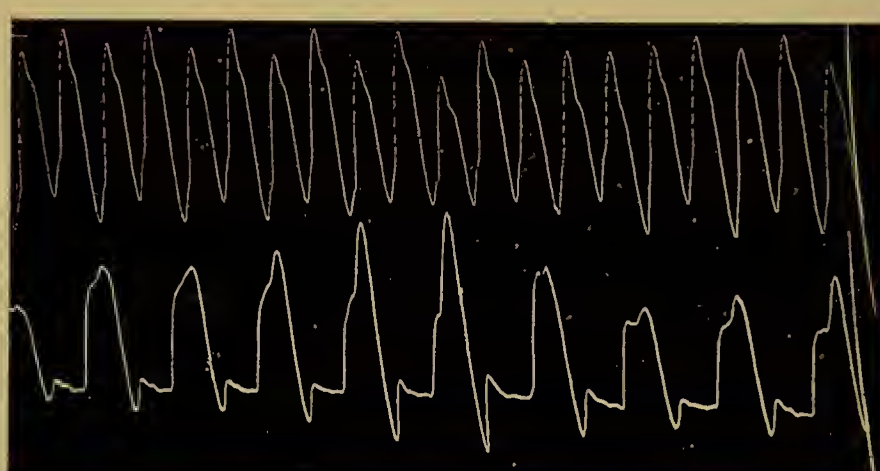
Am, wie früher (S. 93) angegeben, bloßgelegten Kaninchenherzen legt man, nachdem man sich von der regelmäßigen Aufeinanderfolge der Kontraktionen der Vorhöfe und der Kammern überzeugt hat, eine kräftige, aber nicht zu breite Pinzette um die Vorhöfe, indem die eine Branche derselben auf der Hinterseite der Vorhöfe, die andere auf der Vorderseite angelegt wird, letzteres nachdem man mit einer großen gebogenen stumpfen Nadel (vgl. Fig. 100) die großen Arterien gehoben hat.

Damit die Pinzette die Vorhöfe nicht beschädige, dürfen ihre Branchen nicht wie gewöhnlich gerifft sein, sondern werden mit Paraffin oder Wachs überzogen. Man klemmt die Pinzette um die Vorhöfe fest zusammen. Die Bewegungen des Herzens hören dabei nicht auf, es schlagen aber die Kammern jetzt langsamer als die Vorhöfe. Wenn der Druck der Pinzette nicht zu kräftig ist, ist der Kammerrhythmus $^1/_2$ des Rhythmus der Vorhöfe. Bei stärkerer Klemmung wird der Kammerrhythmus langsamer, 1 : 3, 1 : 4, oder schlagen die Kammern ganz unabhängig von den Vorhöfen.

Natürlich darf man die Pinzette nur kurze Zeit liegen lassen, denn durch die Abklemmung des Herzens ist ja der ganze Kreislauf aufgehoben worden. Man lüftet also nach etwa einer Minute den Verschluß. War die Klemmung nicht sehr stark, so stellen sich bald die isorhythmischen Bewegungen der Kammern und der Vorhöfe wieder ein. Dann kann man den



Figur 127 *A*.



Figur 127 *B*.

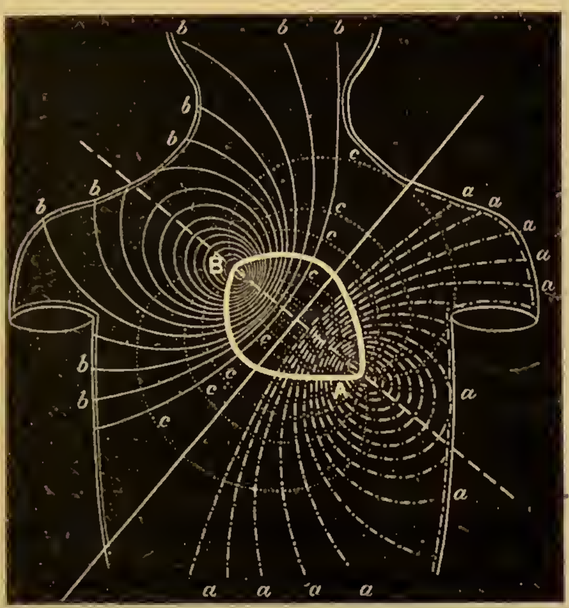
Figur 127. *A*, Gleichzeitige Registrierung der Bewegungen des linken Vorhofes (obere Linie) und der linken Kammer (untere Linie). Systole nach oben. Kaninchen. *B*, Dasselbe Herz nach Abklemmung des Vorhofes.

Versuch nach einiger Zeit wiederholen, bis Vorhöfe und Kammer definitiv in verschiedenem Rhythmus schlagen.

Zur gleichzeitigen Registrierung der Bewegungen eines Vorhofes und einer Kammer ist der Doppelhebel von Engelmann (Fig. 94, S. 87) die einfachste Vorrichtung (vgl. Fig. 127).

10. Das Elektrokardiogramm.

Die durch die Tätigkeit des Herzens entstehenden Stromfluktuationen breiten sich nach bestimmten Gesetzen durch den Körper aus (Fig. 128) und können daher auch zu einem Galvanometer abgeleitet werden.



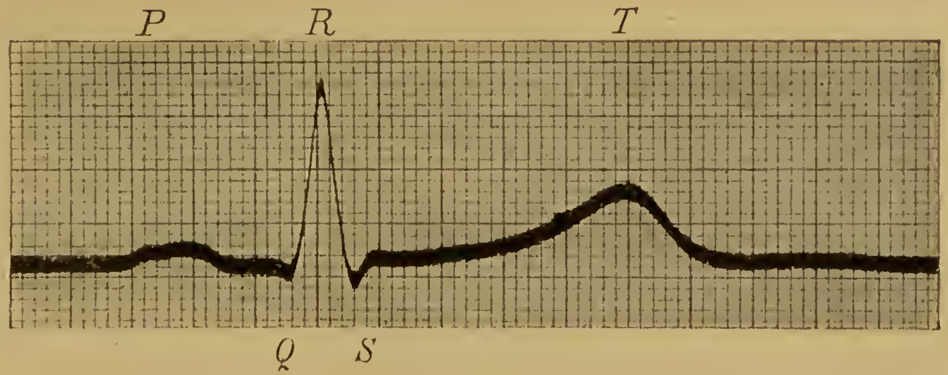
Figur 128.



Figur 129.

Figur 128. Schema der Ausbreitung der Aktionsströme des Herzens, nach Waller. — Figur 129. Versuchsanordnung bei der Ableitung zum Galvanometer, nach Einthoven.

Zu diesem Zwecke wird in der neuesten Zeit ausschließlich das Saitengalvanometer von Einthoven benutzt (vgl. unten Kap. XIII). Man kann dabei von den beiden Händen, von den beiden Füßen, von der linken Hand und



Figur 130. Elektrokardiogramm, nach Einthoven.

dem rechten Fuß wie von der rechten Hand und dem linken Fuß zum Galvanometer ableiten. Die letzte Ableitungsweise gibt die größten Ausschläge.

Im Detail gestaltet sich der Versuch folgendermaßen. Die abzuleitende Hand wie der abzuleitende Fuß wird je bis über die Handwurzel bzw. das Fußgelenk in eine große, mit 1 prozentiger Kochsalzlösung gefüllte Tonzelle,

die selber in einem gläsernen Zylinder steht, getaucht. Letzterer ist mit einer gesättigten Lösung von Zinksulfat gefüllt, und in diese taucht ein Blech aus amalgamiertem Zink, das mit dem entsprechenden Pol des Galvanometers verbunden ist (Fig. 129). Auch kann man die Ableitung einfach durch Eintauchen des Zinkbleches in die Kochsalzlösung vornehmen.

Figur 130 stellt ein menschliches Elektrokardiogramm dar.

C. Die Herznerven.

1. Der Vagus.

Am Frosch tritt der Vagus mit einigen Wurzeln aus dem Kopfmark heraus, teilt sich bald in zwei Zweige, von denen der obere den Glossopharyngeus darstellt, der untere der eigentliche Vagus ist. Sodann begibt er sich zum Herzen, wobei er fast genau am Rande der Muskelbündel (M. pterohyoideus) gelegen ist, welche vom Schädelknochen sich zum Horn des Zungenbeins begeben.

Der Nerv hat ein graues Aussehen und macht beim ersten Anblick den Eindruck einer leeren Arterie. Um ihn zu präparieren, schiebt man, nachdem das Herz bloßgelegt ist, in den Oesophagus ein Reagensglas bis in den Magen hinein, um das Herz und die ihn umgebenden Teile hervorzuwölben. Man sieht alsdann zwei ziemlich parallel verlaufende Nerven, von denen der obere der Hypoglossus, der untere der Glossopharyngeus ist. Diese beiden Nerven liegen auf dem M. pterohyoideus. Etwas tiefer sieht man einen feinen Nervenzweig, der fast ganz parallel den Lungengefäßen verläuft und dann zum Larynx sich begibt. Noch etwas tiefer liegt der N. vagus, der mehr schief nach unten gerichtet ist als der N. laryngeus. Man erkennt ihn an seiner grauen Färbung und isoliert ihn am leichtesten an der Stelle, wo er die Lungenarterie kreuzt (Cyon).

Beim Frosch kann der Vagus auch ohne jede Präparation gereizt werden, indem die Elektroden in den Tubenöffnungen der Mundhöhle angesetzt werden.

Beim Kaninchen verläuft der Vagus am Halse in der Furche median vom M. sterno-cleidomastoideus. Um ihn zu finden, zieht man wie bei der Präparation der Carotis nach dem Hautschnitt in der Mittellinie die Gewebe daselbst auseinander, bis man das in einer gemeinschaftlichen Scheide eingeschlossene Gefäß- und Nervenbündel sieht. Mit einer stumpfen Nadel zerreißt man dann die Scheide und trennt mit derselben Nadel die Nerven von der Carotis. Hier liegen nun Vagus, Sympathicus und Depressor dicht nebeneinander. Der bei weitem dickste dieser Nerven ist der Vagus.

Man bindet ihn ab, legt versenkbare Elektroden an den peripheren Stumpf und reizt den Nerv mit Reizen verschiedener Intensität.

Zur Beobachtung des Erfolges legt man vor der Präparation des Nerven das Herz durch Öffnen der Brusthöhle frei. Am Frosch wie am Kaninchen

kann man dabei die Herzkontraktionen mittels des Suspensionsverfahrens registrieren oder auch dieselben direkt beobachten.

Je nach der Stärke der Reizung werden die Herzschläge mehr oder minder verlangsamt, und bei genügender Reizstärke steht das Herz einige Zeit in der Diastole still. Trotz starker Reizung findet dies indessen nicht immer statt; beim Kaninchen erzielt man im allgemeinen den Herzstillstand leichter bei der Reizung des rechten Vagus.

An bloßgelegten Herzen soll man bei der Vagusreizung nicht allein die Veränderung der Schlagfolge, sondern auch die Veränderungen in der Größe des Herzens auf der Höhe der Diastole beobachten. Ohne jede Registriervorrichtung kann man mit dem bloßen Auge sich davon überzeugen, daß der Umfang der Kontraktionen während der verlangsamten Herztätigkeit wesentlich größer ist als unter normalen Verhältnissen.

Wenn man bei einem Herzen, dem die Vorhöfe in der oben beschriebenen Weise abgeklemmt gewesen sind (vgl. S. 123), den Vagus reizt, so werden die Bewegungen der Vorhöfe verlangsamt, die Kammern zeigen sich aber jetzt von der Vagusreizung ganz unberührt.

Unter normalen Verhältnissen befindet sich der Vagus, bei den warmblütigen Tieren wenigstens, in einem Zustand stetiger Erregung. Infolgedessen schlägt das Herz, solange die Vagi noch unversehrt sind, langsamer als nach ihrer Durchschneidung. Man kann sich davon überzeugen, indem man am Kaninchen nach der Präparation der Vagi die Herzschläge zählt, dann die beiden Vagi durchschneidet und die Zahl der Herzschläge wieder bestimmt. Im zweiten Falle ist ihre Frequenz wesentlich höher als im ersten.

Da besonders beim Kaninchen jede Aufregung die Pulsfrequenz sehr in die Höhe treibt, muß man, um bei diesem Versuche deutliche Resultate bekommen zu können, vor der Durchschneidung der Vagi das Tier möglichst beruhigen.

Endlich ist das Tier mit Atropin zu vergiften (beim Kaninchen etwa 0.001 g Atropin pro Kilogramm Körpergewicht); dies Gift erlahmt die hemmenden Herznerven, und nach der Vergiftung bleibt also die Vagusreizung ohne Erfolg auf das Herz.

2. Der Accelerans.

Die in sympathischen Bahnen verlaufenden beschleunigenden Herznerven werden nach Cyon und H. E. Hering beim Kaninchen in folgender Weise präpariert. Hautschnitt in der Mittellinie des Halses vom Kehlkopf bis zum Sternum; die MM. sterno-cleidomastoidei werden freigelegt und mittels des Thermokauters an der oberen Brustapertur durchschnitten und nach dem Kopfende des Tieres umgeschlagen. Jetzt legt man den Halssympathicus frei, nimmt ihn auf einen Faden, sucht, ihm entlang gehend, das Ganglion cervicale inferius auf und isoliert dasselbe vorsichtig. Die

Verletzung des Brustganges muß hier vermieden werden. Mittels eines Hakens wird die vordere Thoraxwand, soweit es geht, emporgehoben. Kein einziges großes Gefäß braucht unterbunden zu werden, nur kleine Venen. Vom Ganglion cervicale inferius schreitet man weiter zur Präparation der Verbindung mit dem Ganglion thoracicum I und zur Bloßlegung dieses Ganglions selbst. Die Freilegung desselben ist, da man in einer kleinen Höhle arbeitet, ziemlich schwierig und gelingt nicht bei jedem Tiere in vollkommen befriedigender Weise. Man kann nun das erste Brustganglion bzw. den Grenzstrang dicht oberhalb dieses Ganglions fassen und herausreißen. Die Anlegung von Reizelektroden auf die beschleunigenden Herznerven ist beim Kaninchen sehr schwer.

3. Herzreflexe.

Unter den durch reflektorische Einwirkungen hervorgerufenen Veränderungen der Frequenz der Herzschläge sei nur die von Goltz beim Frosch entdeckte, von den Bauchorganen ausgelöste hier erwähnt (Goltz' Klopfversuch).

Der Frosch wird (S. 3) narkotisiert und das Herz freigelegt. Wenn man nun mit einem Messerstiel eine Reihe von leichten, schnell aufeinander folgenden Schlägen auf die Bauchhaut oder besser auf die entblößten Eingeweide des Bauches appliziert, so steht das Herz in der Diastole still.

II. Die Gefäße.

A. Der Blutdruck in den Arterien.

Die zur Bestimmung des arteriellen Blutdruckes benutzten Manometer sind wie auch die Kanülen und die Präparation der zu solchen Versuchen in der Regel benutzten A. carotis schon oben (S. 100, 16 u. 17) beschrieben worden. Es mag nur noch erwähnt werden, daß, wenn die Kanüle, wie oben dargestellt, endständig in eine Arterie eingebunden wird, dieses Gefäß als direkte Fortsetzung der Manometerleitung zum nächstfolgenden größeren Gefäß zu betrachten ist; das Manometer gibt daher den in diesem stattfindenden Seitendruck an. Ein mit der A. carotis solcherart verbundenes Manometer läßt uns also den Druck in der Aorta erfahren.

1. Das Rohr von Hales.

Zur ersten Demonstration des Blutdruckes benutzt man das Rohr von Hales, d. h. ein vertikal stehendes, bis zu einer Höhe von etwa 1.2—1.5 m mit 0.9 prozentiger Kochsalzlösung gefülltes Glasrohr von 2 m Länge und

3 mm innerem Diameter. Oben ist das Rohr offen, unten trägt es, zur Verbindung mit dem Gefäß, einen Schlauch mit Endstück aus Glas. Der Schlauch ist vor dem Versuch mit einer Klemme geschlossen.

Man verbindet die mit der Kanüle armierte Carotis mit dem Rohr und nimmt die Klemme fort. Dann stellt sich die Flüssigkeit im Manometer mit dem zurzeit stattfindenden Blutdruck ins Gleichgewicht, und man kann auch die den einzelnen Herzkontraktionen und den Atembewegungen entsprechenden Druckvariationen an den Oszillationen des freien Endes der Flüssigkeit beobachten.

Ebensowenig wie das Quecksilbermanometer kann das Halessche Rohr genaue Zahlen für die bei jedem Herzschlag stattfindenden Druckvariationen geben; auch hier wird nur der mittlere Druck für eine genügend lange Periode einigermaßen richtig angezeigt. Was diesem Versuch ein großes Interesse verleiht, ist aber erstens, daß derselbe die erste quantitative Messung des Blutdruckes darstellt, und zweitens, daß er den Druck der Blutsäule in einer Flüssigkeit angibt, die etwa dasselbe spezifische Gewicht als das Blut selbst besitzt.

2. Abhängigkeit des Blutdruckes von verschiedenen Variabeln.

Die folgenden Versuche sind mit dem Quecksilbermanometer auszuführen, und zwar wird hierbei der Blutdruck auf ein „unendliches“ Papier registriert. Um Störungen durch Muskelbewegungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, diese Versuche am kurarisierten Tiere mit Äthernarkose zu machen.

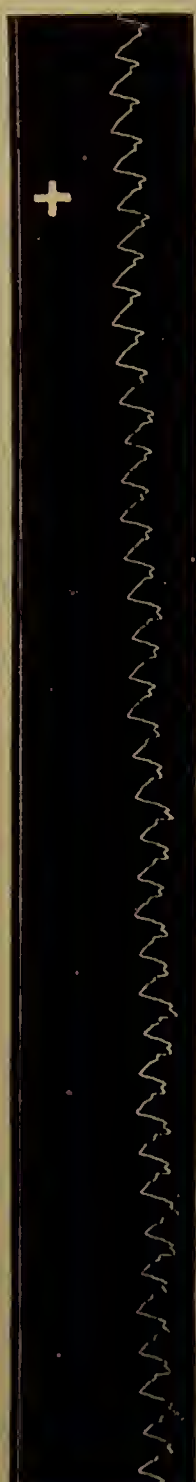
Wenn keine Eingriffe gemacht werden, verläuft die Kurve des Blutdruckes ganz gleichmäßig mit kleinen, den einzelnen Herzkontraktionen entsprechenden, und größeren, von den Atembewegungen herrührenden Erhebungen. Zuweilen kommen auch Erhebungen dritter Ordnung vor, welche je mehrere Atemzüge umfassen und als Ausdruck vasomotorischer Einwirkungen von längerer Periode aufzufassen sind.

a) Die Einwirkung der hemmenden Herznerven.

Um die Wirkung der hemmenden Herznerven auf den Blutdruck zu untersuchen, reizt man in der schon beschriebenen Weise den einen, am besten den rechten Vagus mit schnell nacheinander folgenden Induktionsströmen, und zwar fängt man mit einer sehr schwachen Stromstärke an und prüft der Reihe nach den Einfluß immer stärkerer Ströme. Dann kann man konstatieren, wie bei einer schwachen Reizung, trotz der deutlich sichtbaren Abnahme der Pulsfrequenz, der Blutdruck nichtsdestoweniger nur unerheblich herabsinkt. Bei stärkerer Reizung sinkt der mittlere Blutdruck bei stark herabgesetzter Pulsfrequenz immer mehr herab; bei einer noch stärkeren Reizung hören die Herzschläge vollständig auf und der Blutdruck nähert sich immer mehr der Abszisse.

Bei der Anwendung des Quecksilbermanometers sind die bei geringerer Frequenz der Herzschläge auftretenden Oszillationen von sehr großem Umfang; daraus darf man indessen keine Schlüsse auf die tatsächlich vorhandenen Druckvariationen ziehen, denn hier liegt lediglich nur die Folge der Trägheit des Quecksilbers vor (vergl. oben S. 102).

b) Die Einwirkung des veränderten Widerstandes.



Figur 131. Drucksteigerung durch Reizung des N. splanchnicus in der Brusthöhle (bei +); Kaninchen; elastisches Manometer. Nach C. Tigerstedt.

Wie ein veränderter Widerstand auf den Blutdruck einwirkt, lehrt uns die Tätigkeit der gefäßverengenden Nerven am deutlichsten, und zwar kommt hier der Splanchnicus vor allem in Betracht, weil das von ihm innervierte Gefäßgebiet so groß ist, daß durch dessen Verengerung oder Erweiterung der Gesamtwiderstand im Gefäßsystem in hohem Grade verändert wird.

Die Präparation des Splanchnicus. Da die größte Masse des Splanchnicus beim Kaninchen aus dem 8.—12. Brustganglion entspringt und die davon kommenden Äste sich meistens zu einem gemeinsamen Stamm vereinigen, der neben der Aorta an der Innenseite des M. psoas nach abwärts verläuft und zwischen diesem und der Pars lumbalis des Zwerchfells in die Bauchhöhle eintritt, kann der Splanchnicus bei diesem Tiere entweder in der Brust- oder in der Bauchhöhle aufgesucht werden.

Zur Präparation der Nerven in der Brusthöhle wird das Versuchstier in Rückenlage aufgebunden und der Brustkasten wie oben (S. 93) geöffnet. Dann werden noch einige der hinteren Rippen möglichst weit nach hinten gebunden und durchschnitten, sowie eins der distaleren Rippeninterstitien tief gespalten. Mit einer Pinzette wird das Diaphragma nach unten gezogen und dann die entsprechende Lunge mittels eines etwa 5 cm hohen und 3 cm breiten dünnen Bleches, das durch zwei etwa $1^1/_2$ cm lange Stahlspitzen an der hinteren Brustwand befestigt wird, nach oben verdrängt und vor Verletzung geschützt.

Der Splanchnicus verläuft vor der Wirbelsäule von oben außen nach unten innen, und wird in gewöhnlicher Weise unter Anwendung des Ligaturstabes gebunden und mit Elektroden armiert.

Bei dem Lospräparieren des Splanchnicus muß man die Verletzung der Interkostalarterien peinlichst vermeiden.

Die Aufsuchung des Splanchnicus in der Bauchhöhle kann nach Eröffnung der Bauchwand durch einen langen Schnitt in der Linea alba von vorn vorgenommen werden; es werden dann die Därme in warmen, nassen Tüchern zur Seite und die Leber vorsichtig nach oben geschoben. Auf der linken Seite sieht man dann ohne weiteres die Nebenniere sowie das Ganglion coeliacum und mesenterium sup. am Ursprung der gleichnamigen Arterien. Von hier aus ist es leicht, den zwischen Zwerchfellpfeiler und Ileopsoas durchtretenden Hauptstamm des Nerven zu sehen, und man muß dann außerdem die 2 oder 3 kleineren Äste auffinden, welche unterhalb des Hauptastes, teils zu den genannten Ganglien, teils zur Nebenniere verlaufen. Auf der rechten Seite muß man das Ligament durchtrennen, welches den rechten Leberlappen mit der Niere verbindet, die Leber vorsichtig nach oben drängen, bis die Nebenniere frei liegt, von der aus die Nerven wie auf der anderen Seite gefunden werden.

In Versuchen, wo das Tier mit eröffneter Bauchhöhle im Kochsalzbade liegt, braucht man nur mit der linken Hand die Hinterwand der Bauchhöhle gerade eben aus dem Bade sich entgegen zu heben und hat dann die Nervenbahnen gleich vor sich (Magnus).

Bei der Reizung des Splanchnicus, sei es in der Brust- oder Bauchhöhle, steigt der Blutdruck in die Höhe (vgl. Fig. 131).

c) Drucksteigernde Reflexe.

Durch vielerlei Reflexe können die Gefäßmuskeln zur Zusammenziehung oder zur Erschlaffung gebracht werden.

Am kurarisierten Kaninchen braucht man nur äußerst leicht die Bauchhaut zu streichen, um eine bedeutende Drucksteigerung zu erzielen. Diese beruht gerade auf einer reflektorisch hervorgerufenen Kontraktion der Gefäßmuskulatur. Oft genügt schon einfaches Blasen gegen die Haare der Bauchhaut, um die gleiche Wirkung hervorzurufen.

d) Drucksenkende Reflexe.

Eine Drucksenkung auf Grund einer Gefäßerweiterung kommt beim Kneten der Muskeln an den Hinterbeinen, auch bei kurarisierten Tieren, zum Vorschein. Dabei soll man eine gleichzeitige Hautreizung möglichst vermeiden.

Der Depressor. Von ganz besonderem Interesse ist der durch den N. depressor hervorgerufene drucksenkende Reflex.

Dieser Nerv entstammt der Aortawurzel und vereinigt sich beim Kaninchen teils mit dem Vagusstamm, teils mit dem N. laryngeus sup. Er ist sehr dünn und liegt dicht neben dem Halssympathicus nach außen von ihm.

Bei der Präparation dieses Nerven legt man in ganz derselben Weise wie bei der Präparation des Vagus die Carotis und die sie begleitenden Nerven frei. Ohne Schwierigkeit kann man dann den Depressor und Halssympathicus von dem dicken Vagus trennen. Mittels einer stumpfen Nadel schiebt man die ersteren auseinander, verfolgt sie nach oben und erkennt den Depressor an seiner Teilung in die zwei Äste.

Man bindet den Nerv nahe der oberen Brustapertur ab und armiert den zentralen Stumpf mit versenkbaren Elektroden. Bei der Reizung kann man dann an der Blutdruckkurve konstatieren, wie die Frequenz der Herzschläge abnimmt und der Blutdruck herabsinkt. Nach Durchschneidung der beiden Vagi wiederholt man die Reizung: auch jetzt tritt die Drucksenkung auf, die Abnahme der Pulsfrequenz bleibt aber aus. Die Druckabnahme bei der Depressorreizung ist also wesentlich auf eine reflektorische Gefäßerweiterung zurückzuführen.

3. Erstickung und Blutdruck.

Um die Zentren der hemmenden Herznerven wie der gefäßverengenden Nerven zu erregen, braucht man beim kurarisierten Kaninchen nur die künstliche Atmung für eine Zeitlang aufzuheben. Der Blutdruck steigt sofort etwas an, was indessen nicht eine Wirkung der Gefäßnerven darstellt, sondern lediglich davon bedingt ist, daß die Lungengefäße bei der künstlichen Atmung zusammengedrückt werden, wodurch also die Blutzufuhr zu dem linken Herzen etwas vermindert wird; beim Aufhören der künstlichen Atmung wird die Strombahn durch die Lungen etwas weiter, und im großen Kreislaufe steigt der Druck wegen der besseren Speisung des linken Herzens an.

Nach etwa 10—20 Sekunden machen sich dann die Erstickungserscheinungen am zentralen Nervensystem geltend: der Blutdruck steigt mehr oder weniger an, und die Pulsfrequenz wird wegen der Vagusreizung geringer.

Die starke Erregung des Vagus maskiert in bedeutendem Grade die Wirkung der Gefäßnerven auf den Blutdruck. Um letztere in ihrer völligen Deutlichkeit nachzuweisen, müssen also die Vagi durchschnitten werden. Nachdem die Erstickung etwa 2—3 Minuten gedauert hat, leitet man daher die künstliche Atmung aufs neue ein und durchschneidet die beiden Vagi, aber erst nachdem sich der Kreislauf von den durch die Erstickung bedingten Störungen vollständig erholt hat. Wenn man nun die Erstickung wiederholt, findet man, wie die Blutdruckkurve stetig ansteigt und wie die Pulsfrequenz dabei unverändert bleibt. Nach einiger Zeit fangen sowohl der Druck als die Pulsfrequenz infolge der erlahmenden Wirkung der Erstickung auf die Gefäßnervenzentren und das Herz an, ganz allmählich abzunehmen.

Selbst wenn die Erstickung 3—4 Minuten und noch länger gedauert hat ınd die den einzelnen Herzkontraktionen entsprechenden Erhebungen der Blutdruckkurve nur sehr klein sind, gelingt es durch künstliche Atmung, las Tier wieder zu beleben.

Um die Gefäßnervenzentren im Rückenmarke nachzuweisen, lurchschneidet man das Rückenmark im Halsteile und hört dann mit der :ünstlichen Atmung auf, um den Erstickungsreiz auszulösen.

Bei der Freilegung des Halsmarkes macht man am narkotisierten und urarisierten Kaninchen einen Schnitt in der Mittellinie des Nackens vom Hinterhaupt bis zum I. Brustwirbel. Unter Anwendung des Thermokauters ntfernt man nun die Nackenmuskeln in genügender Ausdehnung, beißt mit iner Zange den Dornfortsatz eines Wirbels ab und schneidet wieder nit der Zange den Ring desselben durch. Die dabei entstehende Blutung vird entweder durch Drücken von Wattebäuschen gegen die blutenden Knochen oder durch Bekleben derselben mit Impfwachs gestillt.

Dann eröffnet man die Duralscheide des Rückenmarkes durch einen Kreuzschnitt und kann nun das freigelegte Rückenmark entweder durchchneiden oder mit einem Faden abbinden, indem man mit einer stark gerümmten stumpfen Nadel das Rückenmark umkreist und es auf den Faden ringt.

Schon vor der Durchschneidung des Rückenmarkes soll man mit der Registrierung des Blutdruckes anfangen. Im Augenblick der Durchschneiung steigt der Blutdruck wegen der durch den Schnitt bewirkten mechaischen Reizung der Gefäßnervenbahnen im Halsmark mehr oder weniger n und sinkt dann auf Grund der Ausschaltung des Gefäßnervensystems n Kopfmark auf ein ziemlich niedriges Niveau herab.

Man läßt nun das Tier einige Zeit ruhen und stellt dann, am besten ach Durchschneidung der Vagi, die künstliche Atmung ab. Nach etwa 00 Sekunden erscheint nun eine Steigerung des Blutdruckes, welche den usdruck der durch die Erstickung bewirkten Erregung der spinalen Gefäßervenzentren darstellt.

Wenn man etwa zu dieser Zeit die künstliche Atmung wieder einleitet, ann der Druck, auf Grund der jetzt durch die Sauerstoffzufuhr geschafenen günstigen Bedingungen, für eine Zeit noch höher ansteigen, ehe er, egen Aufhören des Erstickungsreizes, wieder herabsinkt.

4. Die veränderte Füllung der Gefäßhöhle.

Um die Wirkung einer vermehrten Flüssigkeitsmenge auf en Blutdruck zu untersuchen, setzt man die V. jugularis des narkotisierten nd kurarisierten Versuchstieres mit einer unten tubulierten, in je 25 ccm raduierten Flasche Ringer-Lösung, welche durch eine untenstehende Gasamme auf etwa 37° C. gehalten wird, in Verbindung und injiziert die lüssigkeit langsam ins Gefäßsystem, während gleichzeitig der Blutdruck

registriert wird. Um den Injektionsdruck konstant zu erhalten, ist es zweckmäßig, die Flasche mit der Ringer-Lösung als eine Mariottesche Flasche (vgl. S. 84) einzurichten. Der Druck soll etwa 10—15 cm Wasser betragen.

Man kann nun sehr große Flüssigkeitsmengen eingießen, ohne daß der Druck über den bei normaler Gefäßfüllung möglichen Druck ansteigt, ja, wenn die Injektion zu schnell erfolgt, sinkt der Druck trotz der großen Flüssigkeitsmenge ab. Nach einiger Zeit erscheint ein sehr verdünnter Harn. Bei der Sektion erweist sich die Harnblase strotzend gefüllt, die Leber ist hart wie ein Brett, im Darm und in den serösen Höhlen finden sich große Flüssigkeitsmengen vor usw.

Um andererseits den Einfluß einer größeren Blutentziehung auf den Blutdruck zu untersuchen, bindet man ein vorher gewogenes Kaninchen auf das Operationsbrett auf, setzt in die beiden Carotiden je eine Kanüle ein, verbindet die eine mit dem Quecksilbermanometer und registriert den Blutdruck eine Zeitlang.

Die Blutmenge eines Kaninchens beträgt etwa 5 Proz. des Körpergewichtes. Wenn man nun eine gebogene Röhre mit der anderen Kanüle vereinigt, den Verschluß dieser Arterie lüftet und das Blut in einem Meßzylinder auffängt, so kann man die Blutentziehung nach der Blutmenge des Tieres genau abpassen. Man entnimmt dem Tiere etwa die Hälfte seiner Blutmenge, d. h. $2^1/_2$ Proz. des Körpergewichts, und schließt das blutende Gefäß zu. Der Blutdruck, der während der Blutung sehr tief herabgesunken war, steigt nun an und erreicht binnen kurzem einen nicht ganz niedrigen Stand. Injiziert man nun durch die V. jugularis nicht zu schnell eine Menge Ringer-Lösung, die etwa 5 Proz. des Körpergewichtes beträgt, so erhebt sich der Druck wesentlich, und die Zirkulation wird wieder ganz normal.

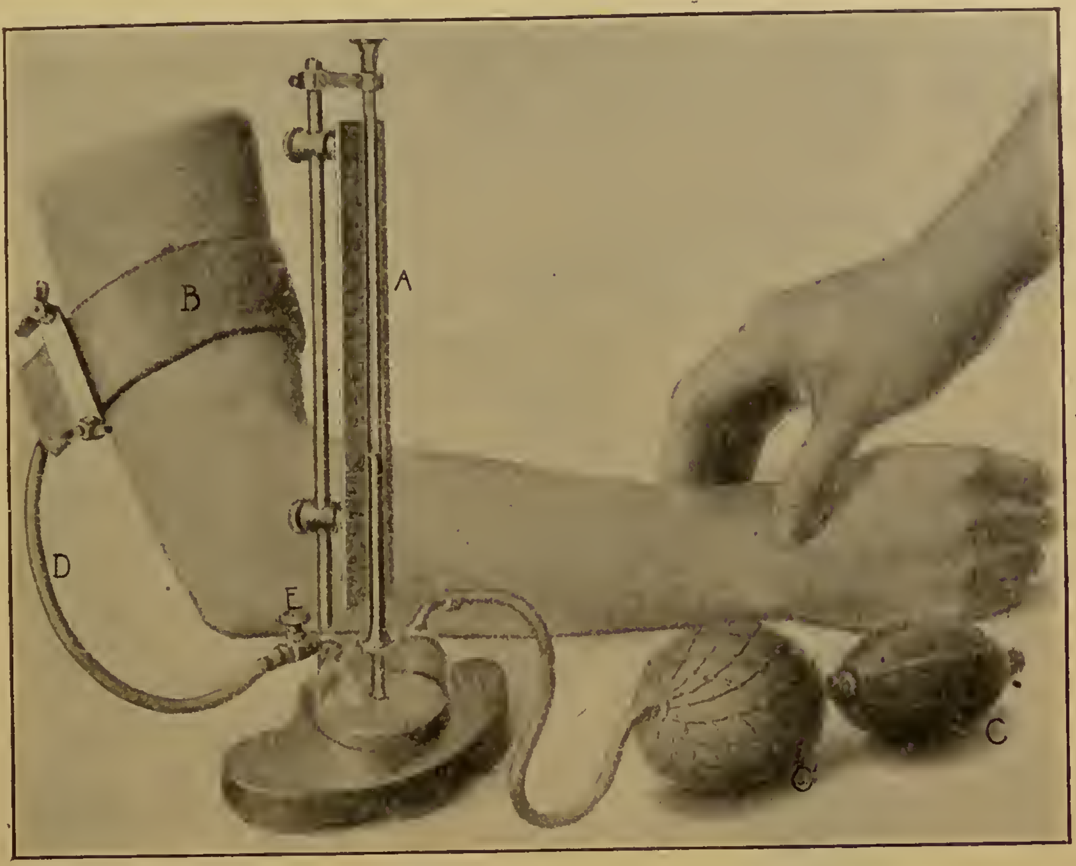
5. Der Blutdruck beim Menschen.

Um den Blutdruck beim Menschen zu bestimmen, sind mehrere Apparate ersonnen, welche sämtlich bezwecken, denjenigen auf die Haut angebrachten Druck zu bestimmen, bei welchem die Blutströmung in der zu untersuchenden Arterie unterbrochen oder in einer bestimmten Beziehung verändert wird.

Unter diesen Methoden werde ich nur die von Riva-Rocci in der von v. Recklinghausen benutzten Modifikation hier darstellen (Fig. 132).

Um den Oberarm legt man eine 15 cm breite Manschette aus Kautschuk *B*, deren beide Blätter einen geschlossenen Hohlraum umschließen. Zur Stütze liegt außen auf der Manschette ein biegsames Metallblech oder ein Stück aus unausdehnbarer Leinwand. Die Manschette wird durch den Ballon *C* mit Luft gefüllt. Der dabei stattfindende Druck wird an einem Quecksilbermanometer *A* abgelesen. Man erhöht den Druck so

lange, bis der tastende Finger den Radialispuls gerade nicht mehr fühlt und liest den Stand des Quecksilbers ab; dann gibt man einen noch etwas



Figur 132. Manometer, nach Riva-Rocci-v. Recklinghausen.

höheren Druck und öffnet ein kleines am Apparat befindliches Ventil ganz wenig. Die Luft strömt heraus, und man beobachtet am Manometer den Druck, bei welchem der tastende Finger den Radialispuls wieder fühlt.

B. Die Messung strömender Blutvolumina.

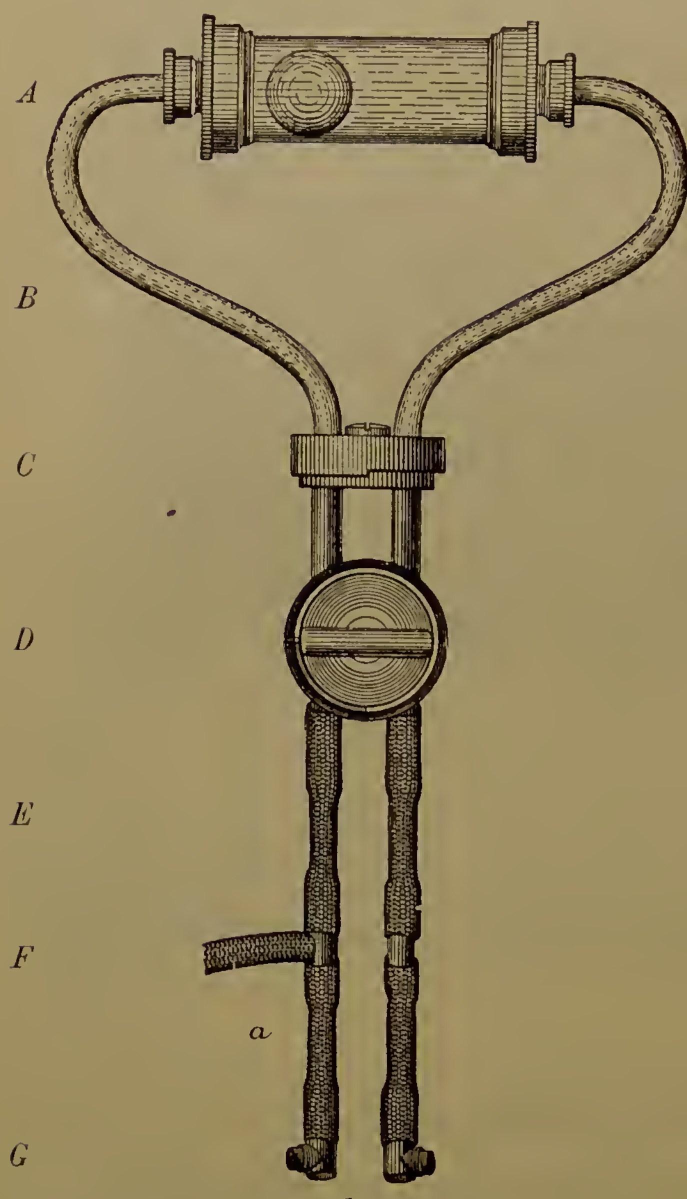
1. Die Stromuhr.

Um die Menge des durch eine Arterie oder Vene strömenden Blutes zu bestimmen, benutzt man Ludwigs Stromuhr oder andere ähnliche Apparate.

Eine Stromuhr, die sich wesentlich an ein von Ludwig angegebenes Modell anschließt, ist folgende.

Der Glaszylinder *A* (Fig. 133), der sehr sorgfältig ausgeschliffen sein muß, enthält eine hohle Metallkugel, die so dünnwandig wie möglich sein soll, und deren Diameter sehr genau mit dem des Zylinders übereinstimmt, jedoch so, daß sich die Kugel längs der Zylinderwand ohne Schwierigkeit bewegen kann. Der Zylinder ist an beiden Enden mit angeschraubten Deckeln versehen, wodurch die Röhrenleitung *B* mit dem Zylinder verbunden ist.

In die Rohrleitung ist ein Hahn *D* mit doppelter Bohrung eingeschaltet. Je nach dessen Stellung strömt das Blut entweder den kurzen Weg durch den Hahn oder den längeren durch den Meßzylinder. Man braucht also mit der Messung nicht sogleich nach der Operation anzufangen, was, angesichts der bei der Operation unvermeidlichen Störungen des Kreislaufes und des Gefäßtonus, als vorteilhaft bezeichnet werden muß.



Figur 133. Stromuhr.

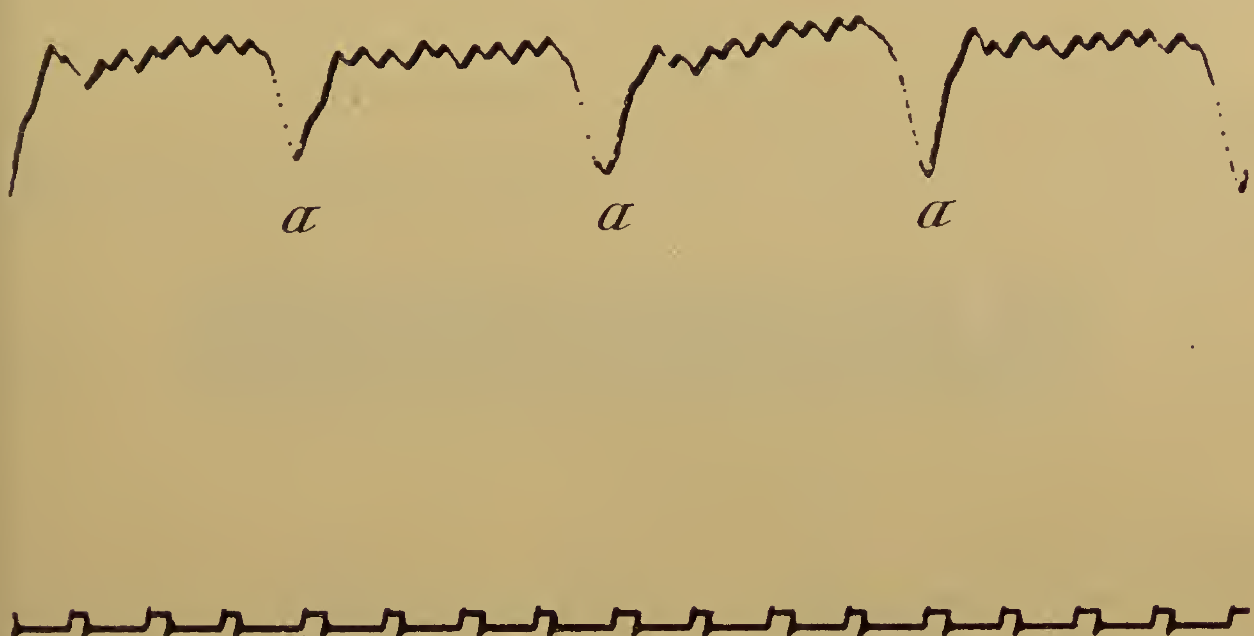
In die Arterie, z. B. die Carotis des Kaninchens, werden Kanülen der in Figur 22*c* abgebildeten Form eingebunden. Hierbei legt man ein großes Stück des Gefäßes frei, bindet in dessen Mitte einen Faden, der als Handgriff dienen soll, schließt mit kleinen Pinzetten das Gefäß zentral und peripher ab und bindet die Kanülen in beiden Enden (vgl. S. 16). Die Stromuhr wird von einem am Operationsbrett festgesetzten Stativ getragen und mit den Kanülen verbunden. Dies findet in der Weise statt, daß die an der Stromuhr befestigten Schläuche *E* an ihren Enden rechtwinklig gebogene Stückchen aus Metall *G* tragen, welche schwach konisch und genau nach dem Innern der Kanülen abgeschliffen sind und also ohne weiteres mit diesen fest verbunden werden können.

Der eine oder beide Schläuche tragen außerdem noch eine seitliche Röhre *F* zur Verbindung mit einem Manometer. Vor dem Versuch wird die Stromuhr durch den einen dieser Seitenzweige mit der Ringer-Lösung gefüllt und alle Luftblasen sorgfältig entfernt. Mit kleinen Pinzetten werden dann die Schläuche abgeklemmt.

Nachdem die Verbindung der Stromuhr mit den Arterienkanülen fertig hergestellt ist, werden die Pinzetten fortgenommen, zuerst von dem peripheren, dann von dem zentralen Ende, und das Blut fließt nun anfangs durch den Hahn. Nach einiger Zeit wird der Hahn gedreht, das Blut strömt nun durch den Zylinder und schiebt die Kugel vor sich. Wenn die Kugel gegen das periphere Ende des Zylinders anstößt, wird der Zylinder durch

Drehung um eine vertikale Achse bei *C* umgedreht, und der Blutstrom schiebt wieder die Kugel vor sich hin usw.

Man kann die Stromuhr auch mit der ungeteilten Aorta ascendens verbinden und also die gesamte aus der linken Herzkammer herausgetriebene Blutmenge eichen. Zu diesem Zwecke wird das Herz in der oben (S. 93) beschriebenen Weise freigelegt, das Bindegewebe zwischen der Aorta und der Lungenarterie mittels stumpfer Nadeln vorsichtig zerrissen und zwei Fäden unter die Aorta gelegt. Die A. pulmonalis wird mit einem Ligaturstab versehen und, sobald alle übrigen Vorbereitungen zum Versuch vollendet sind, mittels dessen verschlossen. Während der jetzt stattfindenden, temporären Aufhebung des Kreislaufes macht man in der Mitte der Aorta eine quere Öffnung, wobei das Gefäß indessen nicht vollständig durch-



Figur 134. Bestimmung strömender Blutvolumina in der ungeteilten Aorta. *a*, *a*, *a*, Drehungen der Stromuhr. Die untere Linie gibt die Zeit in Sekunden an. Die Abszisse des Manometers liegt 14 mm höher als diese.

schnitten werden darf; in jedes Ende der Aorta wird mittels des schon angelegten Fadens eine Kanüle eingebunden, und zwar zuerst in das periphere, dann in das zentrale Ende (vgl. S. 16); zwischen den Kanülen wird die Aorta durchschnitten und die Kanülen, wie oben beschrieben, mit der Stromuhr verbunden; die an der Stromuhr angelegten Pinzetten werden weggenommen und schließlich der Kreislauf durch Entfernen des Ligaturstabes von der Lungenarterie wieder hergestellt. Die Operation muß in etwa 3—4 Minuten vollbracht werden; um keine Zeit zu verlieren, muß man vor derselben die Stromuhr an das sie tragende Stativ in die richtige Lage bringen, so daß sie nach dem Einführen der Kanülen sofort mit diesen vereinigt werden kann.

Wenn der Druck unter Anwendung eines Manometers peripher von der Stromuhr registriert wird, so erscheint bei jeder Umdrehung des Zylinders eine mehr oder minder ausgeprägte Drucksenkung, die von dem

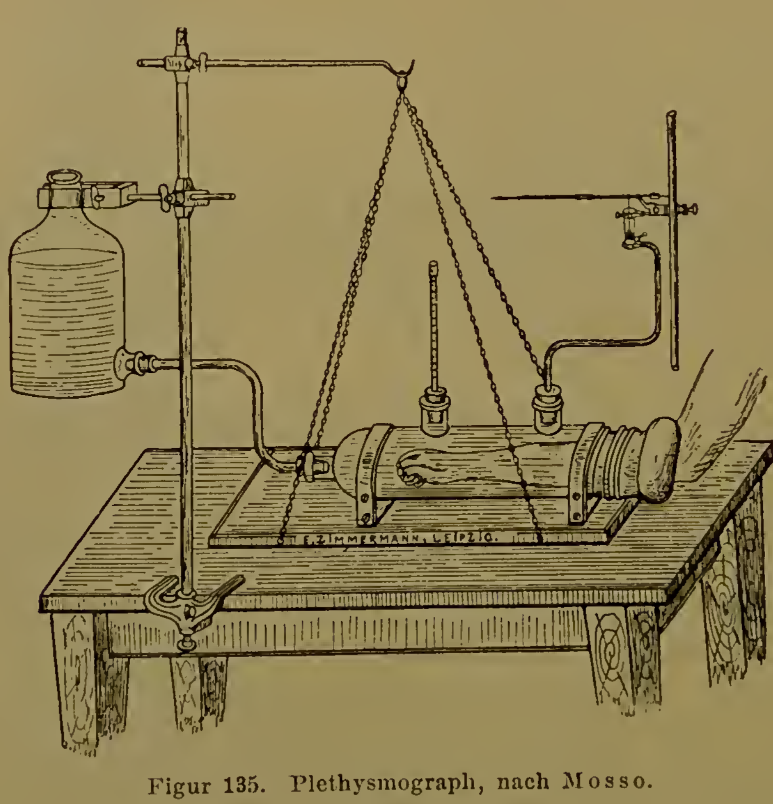
bei der Umdrehung stattfindenden, vollständigen, aber nur momentan dauernden Verschluß der Strombahn herrührt. In dieser Druckvariation hat man also ein Zeichen für jede Umdrehung. Im Intervall zwischen zwei solchen ist durch die Stromuhr eine Flüssigkeitsmenge geströmt, die dem Inhalt des Zylinders mit Abzug des Volumens der Kugel gleich ist (vgl. Fig. 134).

Die Umdrehungen können übrigens auch mit der Hand oder in der Weise registriert werden, daß man an der Stromuhr eine Kontaktvorrichtung anbringt, durch welche ein elektrischer Strom bei jeder Umdrehung geschlossen und ein in die Strombahn eingeschaltetes elektrisches Signal angeregt wird. Dies ist bei der Eichung des Blutstromes in peripheren Arterien oft notwendig, weil die Druckveränderung bei der Drehung der Stromuhr zu gering ist, um an der Blutdruckkurve deutlich zu erscheinen.

2. Die Plethysmographie.

Am lebenden Menschen kann man allerdings nicht den Blutstrom eichen, man kann aber an ihm die Variationen in der Blutzufuhr zu einer Extremität bestimmen.

Die Variationen der Blutzufuhr zu einer Extremität werden durch den Plethysmographen registriert. Dieses Instrument besteht aus einem



Figur 135. Plethysmograph, nach Mosso.

Blech- oder Glaszylinder von solcher Größe, daß der betreffende Teil des Körpers gerade ohne Schwierigkeit dort Platz findet (Fig. 135). An dem einen Ende ist der Zylinder verschlossen, am anderen Ende, durch welches die Hand hineingeführt wird, wird der Zylinder durch einen etwa hand-

breiten Kautschukring, der sich dem Arme einerseits und dem Rande des Blechgefäßes andererseits genau anschließt, geschlossen. Zu diesem Zwecke kann auch eine ziemlich dicke und unnachgiebige Kautschukmembran, die auf die Mündung des Zylinders gebunden und mit einem den Dimensionen des Körperteils entsprechenden Loch versehen ist, dienen. Zum vollständigen Abschluß kann noch Stentmasse (vgl. Kap. IX, I, C) benutzt werden.

Hierbei muß man sorgfältig darauf acht geben, daß die Kautschukbinde keinen, den Blutlauf beeinträchtigenden Druck auf den Arm ausübt.

Der Plethysmograph hat noch zwei Öffnungen, die eine um Wasser von angenehmer Temperatur anzufüllen, die andere um den Inhalt des Zylinders mit einem Registrierapparat zu verbinden; es kommt eventuell noch eine dritte Öffnung für ein Thermometer hinzu. Als Registrierapparate kommen die Schreibkapseln, der Pistonrecorder und der Blasebalg Brodies (vgl. S. 47) in Betracht.

Figur 136 zeigt das Aussehen der plethysmographischen Kurve.

Da die Strömung des Blutes in den peripheren Venen im großen und ganzen als kontinuierlich erachtet werden kann, müssen die Volumen-



Figur 136. Plethysmographische Kurve.

veränderungen des Armes und die entsprechenden Volumenveränderungen des Inhalts im Plethysmographen durch Variation in der Zufuhr von Blut zu den Arterien bedingt sein. Die plethysmographische Kurve lehrt uns daher in erster Linie die durch die wechselnde Blutzufuhr zu den Arterien verursachten Veränderungen des Armvolumens kennen.

Die ganze Konstruktion des Plethysmographen zeigt, daß mit ihm keine großen Volumenveränderungen registriert werden können, wie man auch bei der Anwendung dieses Instrumentes alle Bewegungen mit den darin eingeschlossenen Muskeln so weit möglich vermeiden muß.

Um größere Veränderungen der Blutfülle, wie sie z. B. infolge der Muskelarbeit auftreten, nachweisen und quantitativ bestimmen zu können, wendet man folgende einfache Vorrichtung an (Rancken).

Ein Blechgefäß von etwa 42 cm Höhe und einer Weite von 11×8 cm ist in seinem Innern unten verjüngt, so daß es sich nach der Größe der ausgestreckten Hand anpaßt, und hat etwa 40 cm vom Boden eine seitliche Öffnung, welche durch eine Rinne den Ausfluß vom Wasser in einen untengestellten Meßzylinder gestattet.

Das Gefäß wird bis zu der seitlichen Öffnung mit Wasser von etwa 33° C gefüllt und dann der Arm darin so tief eingeführt, daß die ausgestreckten Finger den Boden des Gefäßes berühren. Dabei fließt natürlich

eine Wassermenge, die genau dem Volumen des Armes entspricht, in den Meßzylinder heraus und wird dort gemessen.

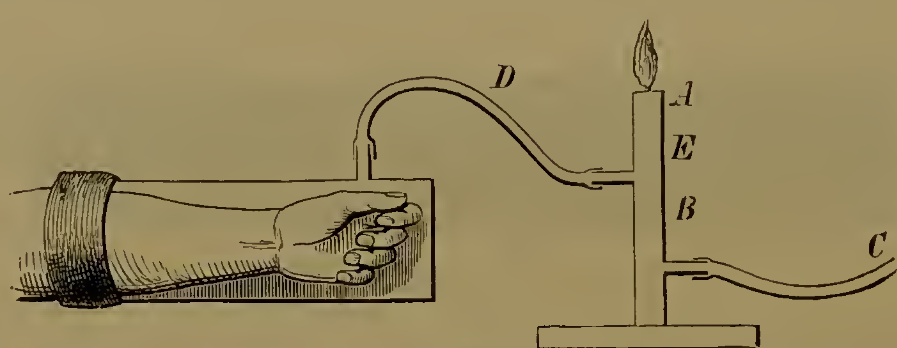
Wenn die Versuchsperson nun mit dem Arme eine möglichst starke Arbeit ausführt, z. B. Heben von Gewichten, und den Arm sofort nach Beendigung der Arbeit wieder in den mit Wasser von 33° C gefüllten Blechzylinder bringt, so ist die jetzt herausfließende Wassermenge beträchtlich größer als im ersten Falle und zeigt, in einem wie hohen Grade die Blutfülle des Armes infolge der Arbeit zugenommen hat.

3. Die Tachygraphie.

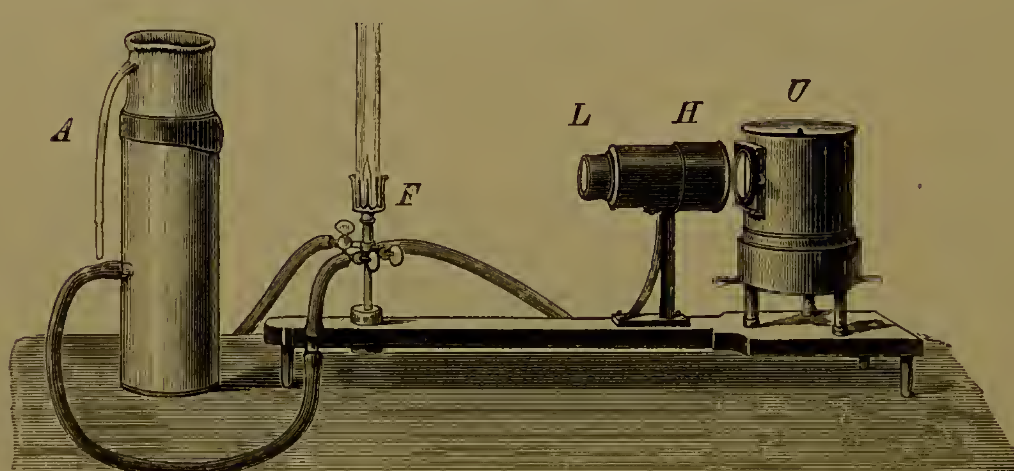
Man kann auch die Veränderungen der Geschwindigkeit der Blutströmung beim Menschen direkt registrieren.

Das Prinzip dieser von v. Kries ersonnenen Methode ist folgendes.

Denken wir uns die Hand und einen Teil des Armes nach Art der plethysmographischen Methode in einen Zylinder eingeschlossen, diesen aber



Figur 137*a*.



Figur 137*b*.

Figur 137. Tachograph, nach v. Kries. *a*, Schema; *b*, perspektivische Darstellung.

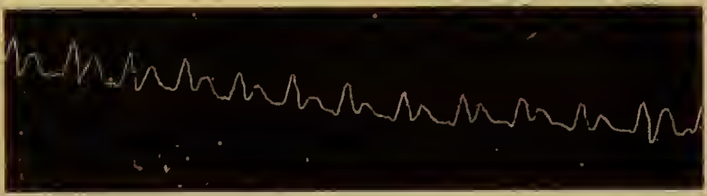
mit Luft gefüllt und durch eine Öffnung mit der äußeren Luft kommunizierend, so muß bei den Volumenschwankungen durch diese Öffnung abwechselnd Luft hinausgetrieben und wieder eingesogen werden. Bei hinreichend weiter Öffnung entspricht offenbar die Stärke des Luftstromes der Geschwindigkeit, mit welcher das Volumen des Armes zu- oder abnimmt:

somit ist auch leicht zu übersehen, daß die Stärke des Luftstromes nichts anderes darstellt als den jeweiligen Überschuß der arteriellen über die venöse Stromstärke; den positiven und negativen Werten dieses Überschusses entsprechen die positiven und negativen Werte der Stärke des Luftstromes, d. h. die Richtung desselben aus dem Zylinder heraus oder in ihn hinein. Druckschwankungen finden hier im Inneren des Zylinders, da er mit der atmosphärischen Luft in offener Verbindung steht, nur in minimalem Betrage statt. Es gilt also, die Stärke des Luftstromes zu registrieren.

v. Kries erzielt dies durch eine Gasflamme.

C (Fig. 137 a) ist die Verbindung der Lampe mit der Gasleitung, *D* die zwischen dem Plethysmographen und der Lampe. Die Oszillationen der Flamme werden dadurch registriert, daß man mittels eines Objektivs *LH* (Fig. 137 b) ein Bild der Flammenspitze auf den Spalt eines für photographische Registierung eingerichteten Registrierapparates (*U*) wirft.

Bei der Anwendung dieser Methode muß man darauf achten, daß die Öffnung, aus der das Gas ausströmt, nicht zu eng ist, denn dann bekommt



Figur 138. Plethysmogramm bei etwas leckem Zylinder.

man Kurven, die den Volumenschwankungen nahestehen. Bei zu großer Ausflußöffnung tritt anderseits leicht ein Flackern der Flamme auf.

v. Kries macht deshalb die Ausströmungsöffnung eng und gibt dem Gas noch einen zweiten Ausweg durch eine Nebenflamme. Um die Lichtstrahlen, die von der Flamme ausgehen, kräftiger wirkend zu gestalten, ist es zweckmäßig, das Gas durch eine Flasche mit benzingetränktem Bimsstein zu leiten. Da ferner der Gasdruck in einer gewöhnlichen Leitung nie ganz konstant ist, empfiehlt es sich, in der Leitung noch einen Gasdruckregulator einzuschalten.

Frank hat zu dem gleichen Zwecke folgenden Apparat angegeben. Der Plethysmographzylinder hat zwei seitliche Öffnungen; durch die eine steht er in Verbindung mit einer sehr empfindlichen Herztonkapsel (vgl. S. 51); die andere Öffnung kann durch einen Hahn abstufbar verschlossen werden. Ist die Seitenöffnung geschlossen, so schreibt die Kapsel Volumenschwankungen auf, ist sie genügend offen, so registriert sie die Variationen der Einströmungsgeschwindigkeit.

Hier wie überall bei den plethysmographischen Versuchen soll der Raum des Zylinders durch Anpassung an die Gliedmaßen so klein wie möglich sein. Man füllt ihn daher zum Teil mit Flüssigkeit; jedoch

braucht die Flüssigkeitsschicht nicht über den halben Durchmesser des Gliedes hinauszugehen.

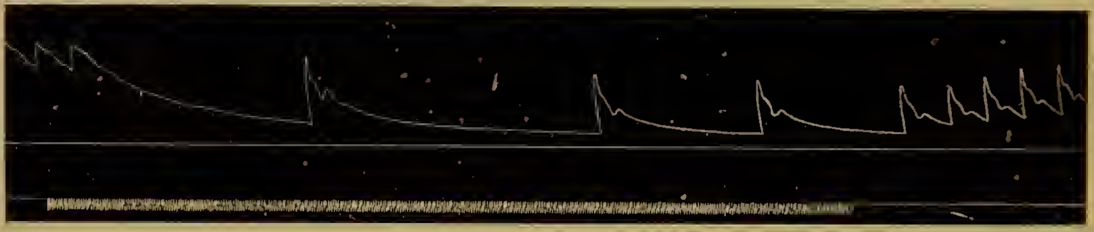
Eine Annäherung der gewöhnlichen plethysmographischen Kurve zu dem Tachogramm wird, wie aus dem soeben Ausgeführten hervorgeht, leicht auftreten, wenn der Plethysmograph etwas leck ist. Unter solchen Umständen hat z. B. das Plethysmogramm in Figur 136 die in Figur 138 dargestellte Form angenommen.

C. Der Arterienpuls.

Zum Studium des wirklichen Verlaufes der bei jeder Systole in den Arterien stattfindenden Druckvariationen eignen sich, wie schon bemerkt,



Figur 139 *a*.



Figur 139 *b*.



Figur 139 *c*.

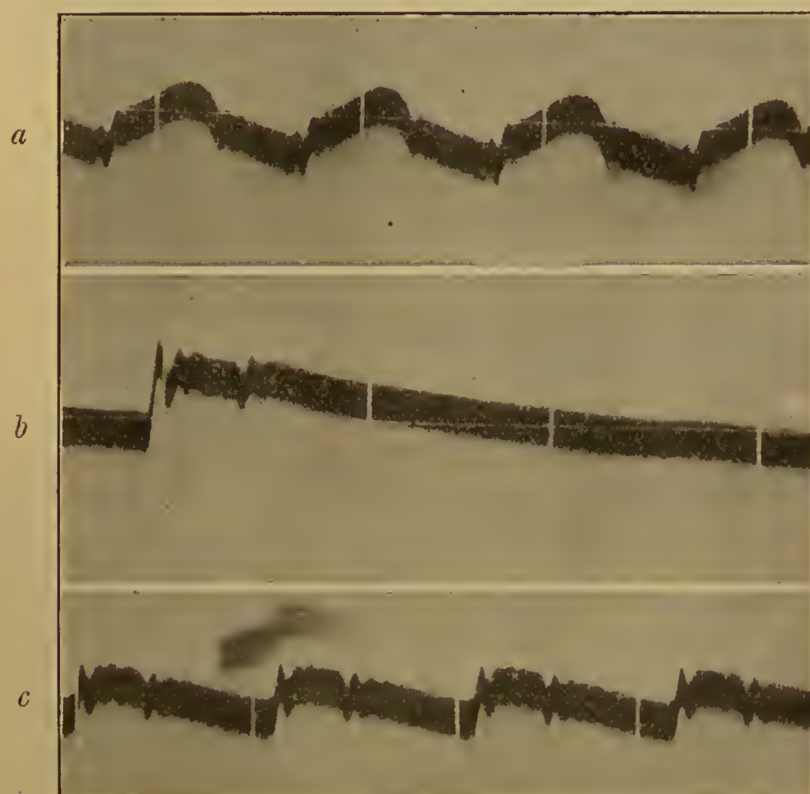
Figur 139. Druck in der Aorta des Kaninchens, mit Franks Federmanometer geschrieben, nach v. Born. *a*, nach einer Vagusreizung, 50 mm/Sek.; *b*, Vagusreizung, 10 mm/Sek.; *c*, Reizung des Depressors, 1 mm/Sek.

nur die elastischen Manometer, und man sollte, wenn man Gelegenheit dazu hat, mit ihnen wenigstens die oben besprochenen Versuche über die Veränderungen des Blutdruckes unter der Einwirkung des Vagus und des Depressors, sowie der Reflexe durch Streichen der Bauchhaut und durch Kneten der Muskeln wiederholen. Dabei hat man Gelegenheit, den tatsächlichen Umfang der Druckschwankungen bei jedem Herzschlag zu bestimmen und die Form dieser Druckschwankungen unter verschiedenen Versuchsbedingungen kennen zu lernen.

Zu dem schon oben betreffend die Technik bei diesen Versuchen Gesagten habe ich nichts mehr hinzuzufügen und beschränke mich daher, auf die in Figur 131, 139 und 140 mitgeteilten, mit den elastischen Manometern von O. Frank registrierten Kurven zu verweisen.

Die im arteriellen System stattfindenden Druckvariationen können beim Menschen ihrer Form, aber nicht ihrer absoluten Größe nach mit dem Sphygmographen studiert werden.

Der Sphygmograph ist entweder für direkte Registrierung des Pulses oder auch für die Registrierung mittels Luftübertragung konstruiert.



Figur 140. Druck in der Aorta des Kaninchens, mit Franks Spiegelmanometer geschrieben, nach v. Born. *a*, normal; *b*, Vagusreizung; *c*, Depressorreizung. Geschwindigkeit bei *a* und *b* 57 mm/Sek., bei *c* 53 mm/Sek.

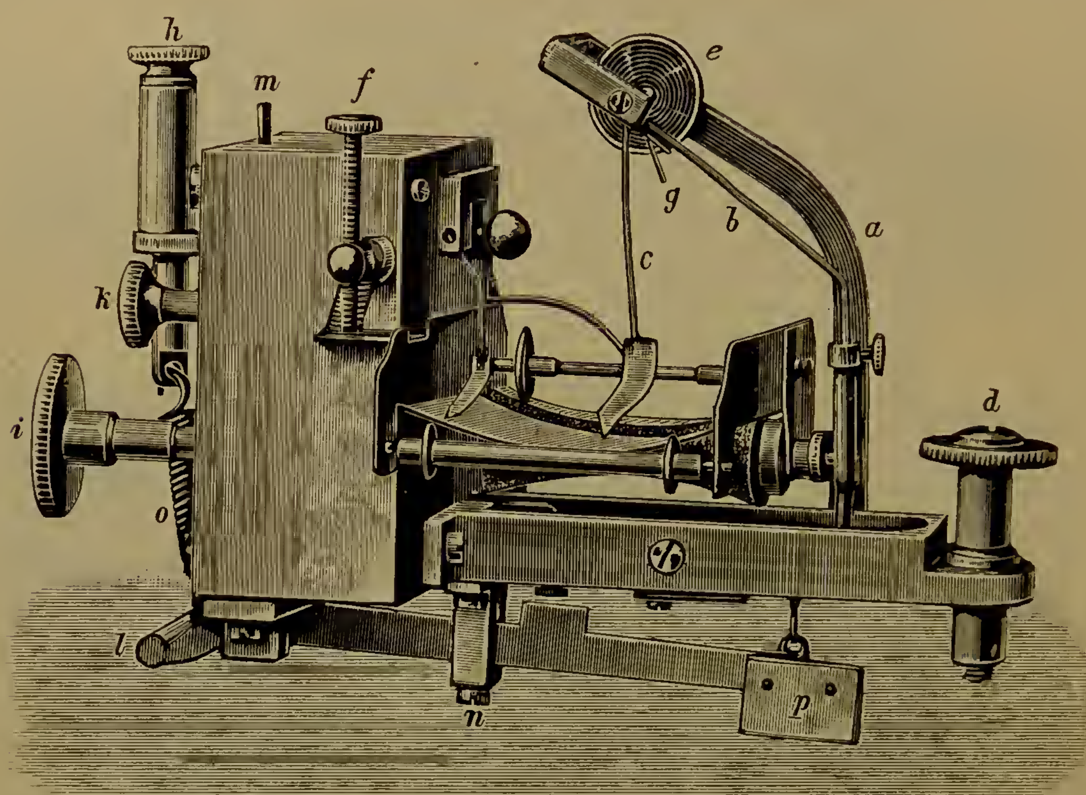
Der direkte Sphygmograph besteht aus einer starken Feder, die unter Vermittlung einer Pelotte auf die Arterie, deren Druckschwankungen registriert werden sollen, gelegt wird. Die von der Pulsbewegung hervorgebrachten Bewegungen der Feder werden mittels eines Hebels auf eine am Apparat befestigte Schreibfläche im vergrößertem Maßstab registriert.

Unter den überaus zahlreichen Modellen des Sphygmographen beschreibe ich hier nur den von O. Frank und Petter konstruierten, der auf Grund der von dem ersteren entwickelten Theorie gebaut ist (Fig. 141).

An dem langen Hebelarm eines starken Hebels ist die Pelotte *p* befestigt, während an dem kurzen Arm eine passend gewählte Feder *o* wirkt. Der Drehungspunkt des Hebels liegt an dem Teil des Gestells, der das Uhrwerk trägt. Das Verhältnis der beiden Hebelarme ist 1:10; der Druck, den die Pelotte ausübt, ist demnach der 10. Teil des Zuges der Feder am

anderen Ende; der Elastizitätskoeffizient an der Pelotte ist aber bloß der 100. Teil desjenigen der Feder. Man erhält auf diese Weise genügend großen Druck bei niedrigem Elastizitätskoeffizienten. Die Spannung der Feder kann durch eine Schraube *h* sehr genau und stets kontrollierbar verändert werden.

Die Bewegung der Pelotte wird durch den Doppelhebel *b* und *c* passend vergrößert. Der Hebel *b* ist einarmig und winklig geknickt. Er besteht aus einem 1 mm dicken Stahldraht. Die Pelottenexkursion wird durch ihn allein fünfmal vergrößert. Durch den zweiten Hebel wird die Gesamtvergrößerung auf 50 erhöht. Die Gelenkverbindung zwischen *b*



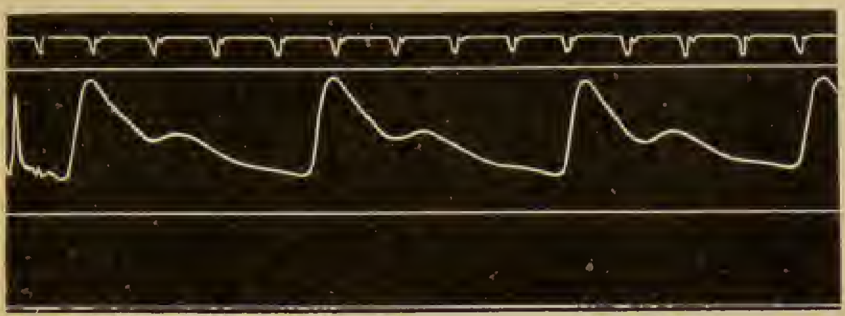
Figur 141. Sphygmograph, nach Frank und Petter.

und *c* findet durch ein besonderes, an derselben Achse mit dem Hebel *c* angebrachtes glattes Gleitstäbchen *g* statt. Die Feder *e* drückt die Hebelspitze an die Schreibfläche.

Der Hebel *c* besteht aus einem 0.6 mm dicken Aluminiumdraht, der am freien Ende gabelig gespalten ist. Die Gabel dient zur Vernietung des unteren Hebelendes mit einer Schreibspitze, welche in die Bewegungsrichtung des Papieres gestellt ist. Damit der Hebel mit annähernd gleichmäßigem Drucke zeichnet, wird der berußte Streifen gegen die Achse zu hohl gebogen.

Der Papierstreifen kommt auf der in der Figur ersichtlichen Walze zu liegen und wird durch Umdrehung derselben mittels des Uhrwerkes (links in der Figur) verschoben. Der kleine Hebel links gibt auf dem Papier die Sekunden an (vgl. Fig. 142).

Beim Versuch wird an den Unterarm erst ein Rahmen so gebunden, daß die pulsierende A. radialis in dessen Mitte liegt. Dann wird der Sphygmograph an diesen Rahmen festgesetzt und durch Drehen an der Schraube *h* der Pelotte *p* die richtige Spannung gegeben.

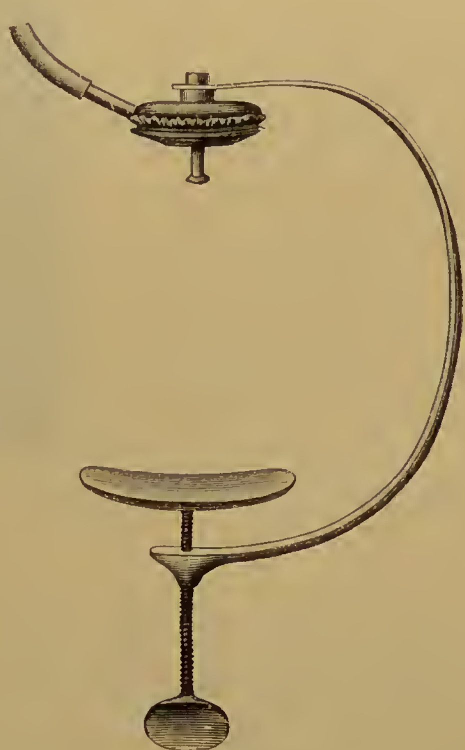


Figur 142. Pulskurve, nach Frank und Petter.

Dieses Instrument ist wie andere direkte Sphygmographen eigentlich für die A. radialis bestimmt, und mit ihm kann man nicht gleichzeitig den Puls mehrerer Arterien, ebensowenig den Puls und den Herzstoß registrieren. Auf Grund dessen ist es in vielen Fällen notwendig, die Methode der Registrierung durch Luftübertragung auch hier anzuwenden, was außerdem auch dann nötig ist, wenn es gilt, während einer längeren Zeit den Puls an einer einzelnen Arterie aufzuzeichnen. Denn mit dem direkten Sphygmographen kann man ja doch nur einige wenige Pulse registrieren.



Figur 143. Kautschukbirne zur Aufnahme des Pulses.



Figur 144. Bügel zur Anlegung der Birne an die Carotis, nach Santesson.

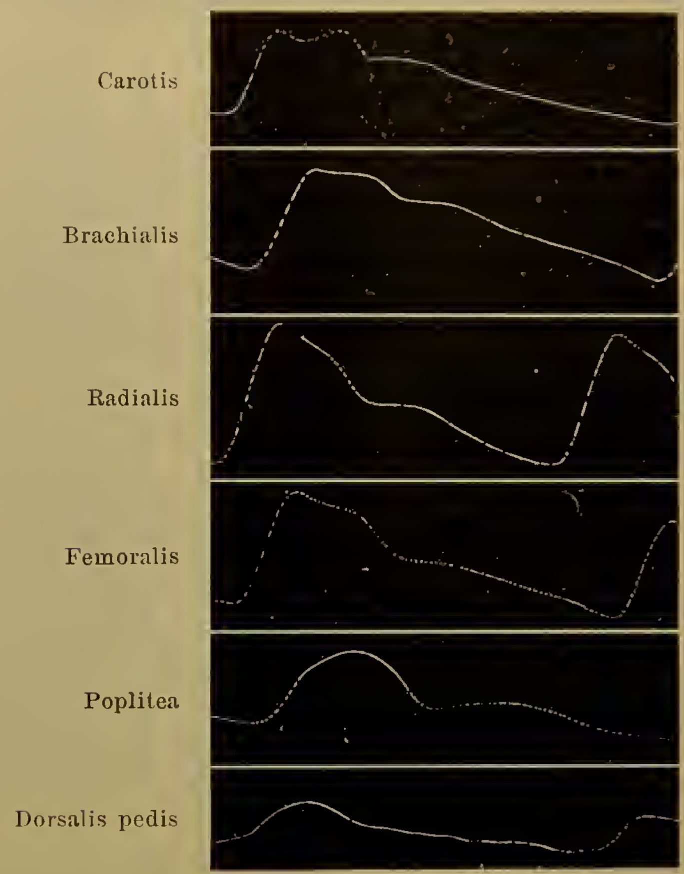
Als Aufnahmekapsel ist eine gewöhnliche Kautschukbirne von etwa 40 ccm Inhalt und 2 mm Wandstärke sehr geeignet (Fig. 143). Sie wird mittels eines genügend breiten Gurtes an der Stelle befestigt, wo man den Arterienpuls aufnehmen will, und es bietet keine Schwierigkeit, dies an jedem Orte der Extremitäten zu tun. Nur am Oberschenkel (A. femoralis) ist es vorteilhaft, über den Ballon noch ein kleines Brettchen zu bringen, um den Druck auf den Ballon etwas zu verstärken.

Bei der Registrierung des Carotispulses drückt man den Ballon mittels eines kleinen, um den Hals gelegten Bügels (Fig. 144) gegen die Furche, wo die A. Carotis anläuft, und erzielt die Spannung mittels einer mit einer

Pelotte versehenen Schraube. Beim Gebrauch wird der Bügel so angelegt, daß die Pelotte gegen den Nacken steht, während das andere, trichterförmige Ende des Bügels den Ballon aufnimmt; in der Figur 144 ist statt dessen eine aufnehmende Luftkapsel daran befestigt.

Als Schreibkapseln werden die gewöhnlichen Schreibkapseln benutzt; bei photographischer Registrierung bedient man sich der Frankschen Herztonkapseln (vgl. S. 51). Beispiele solcher Kurven finden sich in Figur 145 und 146.

Um den Unterschied zwischen der Wellenbewegung und der translatorischen Bewegung direkt hervortreten zu lassen, ist folgendes Kreislaufs-



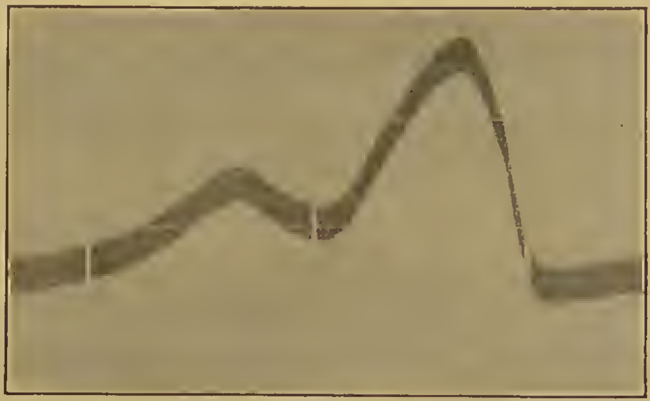
Figur 145. Puls verschiedener Arterien, mit dem Gummiballon und der Schreibkapsel von Sandström registriert, 50 mm/Sek.

schema sehr instruktiv (Fig. 147). *K* ist eine Saug- und Druckpumpe, deren Klappen nur eine Strömung von links nach rechts erlauben. Von der Pumpe wird das Wasser in den starkwandigen elastischen Schlauch (2) von 10 m Länge, welcher das arterielle System vertritt, getrieben. Der durch die Kapillaren bewirkte Widerstand wird durch ein mit Schwammstückchen ausgefülltes Rohr (3) hergestellt. Die Venen sind durch den weiten und dünnwandigen Schlauch von 5 m Länge (4) repräsentiert, und endlich stellt der dünnwandige Kautschukbeutel (5) den Vorhof dar.

Am Anfang und Ende des arteriellen und des venösen Schlauches sind Steigröhren (Piezometer) eingesetzt, und dicht neben diesen ruhen ziemlich lange Hebel P_1 P_2 aus Strohhalm auf dem Schlauch. Die Lager ihrer

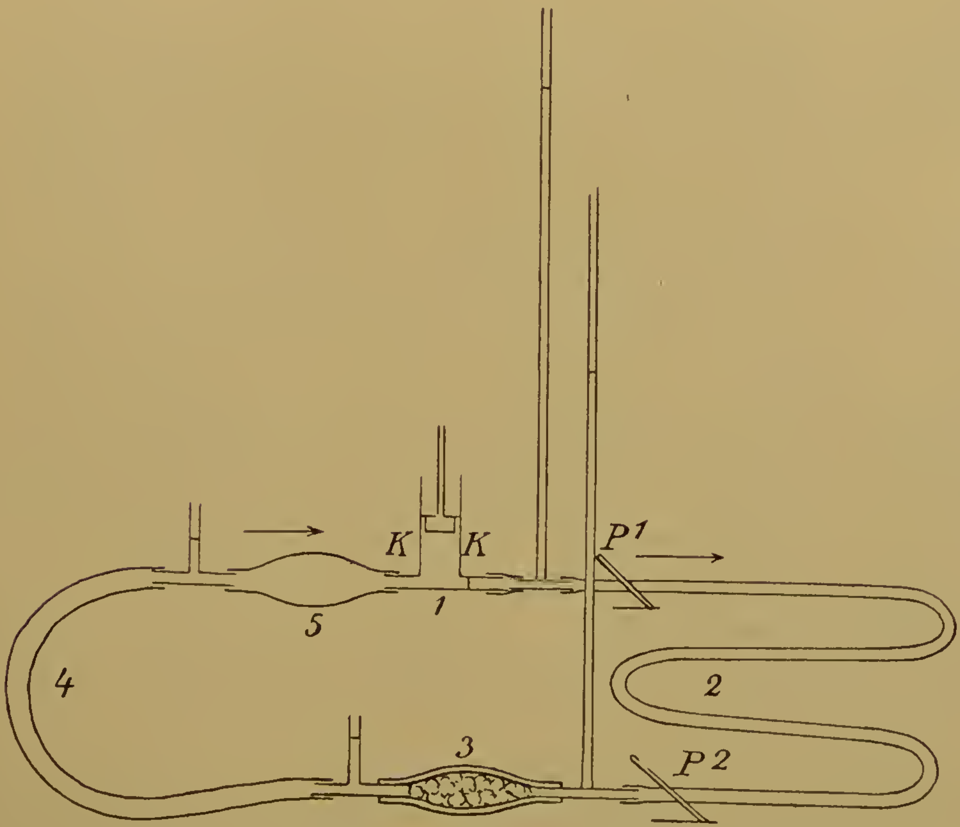


Figur 146*a*.



Figur 146*b*.

Figur 146. Puls, mit dem Gummiballon und der Herztonkapsel von Frank registriert. *a*, Carotis; *b*, Radialis. Geschwindigkeit etwa 60 mm/Sek. Von rechts nach links zu lesen.



Figur 147. Kreislaufsschema, nach v. Frey, etwas modifiziert.

Achsen finden sich an kleinen Messingplatten, welche unter dem Schlauche angebracht sind.

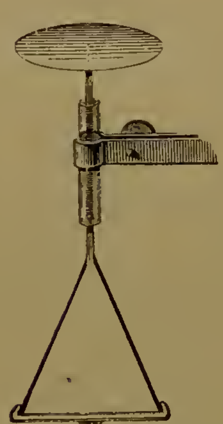
Wenn nun durch die Bewegungen der Pumpe eine Flüssigkeitsströmung in diesem System hergestellt wird, sieht man, wie das Wasser in allen Piezometern vor dem Widerstand, gleichgültig, ob sie nahe der Pumpe oder entfernt von ihr angebracht sind, etwa den gleichen Stand hat, während das nach dem Widerstand eingeschaltete Piezometer nur einen sehr niedrigen Druck angibt. Bei jedem Schlag der Pumpe werden die Hebel aus Strohhalm schnell nacheinander in Bewegung versetzt.

Läßt man eine gefärbte Flüssigkeit durch den Apparat strömen, so findet man, daß bei jedem Schlag der Pumpe, ganz wie früher, die Hebel aus Strohhalm sich schnell nacheinander bewegen; es dauert aber eine geraume Zeit, bis die gefärbte Flüssigkeit in den entfernteren Piezometern sichtbar wird. Hier stellt sich also der Unterschied zwischen der wellenartigen Bewegung und der translatorischen äußerst deutlich dar.

D. Der Blutstrom in den Kapillaren.

Der Druck in den Kapillaren der Haut läßt sich am Menschen nach folgender Methode, die indessen keine größeren Ansprüche auf Genauigkeit erheben kann, bestimmen.

Es wird auf die Haut ein Glasplättchen gelegt und so lange belastet, bis die Haut ihre Farbe verändert bzw. weiß wird. Weil aber bei dem Zusammendrücken der tieferen Kapillaren das Bindegewebe der Haut einen Teil des einwirkenden Druckes trägt, so beobachtet man denjenigen Druck, bei welchem eine deutliche Farbenveränderung der Haut auftritt, d. h. bei dem die oberflächlichsten Kapillaren komprimiert werden. Dabei muß die betreffende Hautstelle, um die Einwirkung des hydrostatischen Druckes der Blutsäule auszuschließen, etwa auf der Herzhöhe gehalten werden.



Figur 148. Apparat zur Bestimmung des Kapillardruckes, nach N. v. Kries.

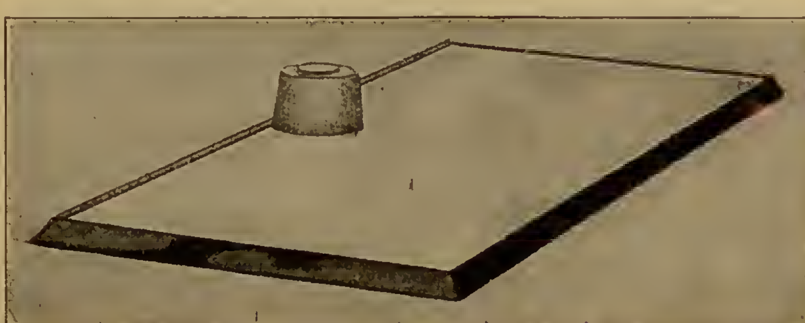
Der Apparat ist folgendermaßen gebaut. Unten befindet sich das Glasplättchen von 2.5—5 mm im Quadrat. Das Glasplättchen ist an einem Glasleistchen befestigt, und dieses steht durch ein Gerüst von feinen Tannenholzstäbchen mit der oberen Schale in Verbindung. Der vertikale Stab geht durch ein Glasröhrchen, das von einem Stativ getragen wird (Fig. 148).

Die Fehlergrenzen dieser Methode sind ziemlich groß: da in vielen Fällen der kleinste Gewichtszusatz, der eine Farbenveränderung bewirkte, 0,25 g betrug, entspricht dies, auf eine Fläche von 5×5 mm bezogen, einem Druck von 10 mm Wasser.

Um den Kreislauf in den kleinsten Arterien und Venen sowie in den Kapillaren mikroskopisch zu beobachten, vergiftet man einen Frosch stark mit Urethan. Dieses wird in 25 prozentiger Lösung (mit 0,6 Prozent Koch-

salz) subkutan in einer Menge ausgespritzt, die etwa 2 Prozent des Körpergewichtes entspricht, also 1 ccm auf einen Frosch von 50 g usw.; nach 13 bis 20 Minuten befindet sich das Tier in vollständiger Narkose, die Reflexe sind verschwunden, die Herzkontraktionen aber nicht abgeschwächt, sondern der Kreislauf geht im Gegenteil unbehindert vor sich.

Man spannt nun den Frosch auf ein Froschbrett und breitet die Schwimmhaut zwischen der zweiten und dritten Zehe eines Hinterfußes über eine im Brett gemachte Öffnung, wobei die Schwimmhaut durch eingestochene Nadeln in richtiger Lage erhalten wird. Oder auch man öffnet die Bauchhöhle und breitet das Mesenterium über die Öffnung aus. Öhrwall empfiehlt dazu folgende Anordnung. Auf einer Spiegelglasplatte von 8,5 cm Breite und 20 cm Länge befestigt man mit Kanadabalsam einen runden, 12 mm hohen, nach oben zu etwas sich verjüngenden Glasklotz (Durchmesser unten 20 mm, oben 17 mm) an dem einen Rande, auf der Mitte der einen Längsseite. Mitten auf der oberen Fläche des Glasklotzes wird in derselben Weise eine runde Glasscheibe von 1 mm Dicke und 12 mm Durch-



Figur 149. Apparat zur Beobachtung der Blutströmung im Mesenterium des Frosches, nach Öhrwall.

messer befestigt (Fig. 149). Das Mesenterium wird auf der runden Glasscheibe ausgebreitet, der Darm liegt außerhalb derselben und um sie herum auf dem Klotze. Über das Mesenterium wird ein passendes rundes Deckgläschen gelegt.

Das schönste Objekt für die Untersuchung der Blutströmung ist aber die Froschlunge. Zu diesem Zweck hat Holmgren einen kleinen Apparat konstruiert, der in seiner von Öhrwall ausgearbeiteten Modifikation folgendermaßen gebaut ist.

Es gilt, die Lungen des Frosches aufzublasen und in aufgeblasenem Zustande zu erhalten. Dies geschieht mittels der in Figur 150 dargestellten Kanüle. Ihr vorderes Ende ist zugespitzt, so daß sie in die Glottis leicht eingeführt werden kann. Dieses zugespitzte Ende ist mit einer Öffnung auf jeder der beiden Seiten versehen, welche Öffnungen, wenn die Kanüle eingeführt ist, je einer Lunge zugewandt sind. Sie stehen mit der einen der beiden Röhren in Verbindung, welche zur Kanüle führen, und dienen dazu, von dieser Röhre aus die Lunge aufzublasen.

Nach diesem Teil kommt ein Mittelstück, mit je zwei Öffnungen auf beiden Seiten versehen, welche mit der anderen Zweigröhre in Verbindung

stehen. Dieses System dient zum Aufblasen einer dünnen Membran, welche die Glottis ausfüllen und luftdicht schließen soll. Dazu eignet sich eine herausgenommene Froschlunge am besten. Man schneidet die Lunge eines eben getöteten Frosches an der Basis ab, führt die Kanüle in die Lunge hinein und legt Ligaturen in den entsprechenden schrägen Rillen an, nachdem man die Lunge erst etwas zusammengeschoben hat, so daß sie um die Partie zwischen den Einschnitten locker herumliegt, und entfernt die Teile der Lunge, die außerhalb der Ligaturen liegen.

Die zuführenden beiden Röhren der Kanüle werden mit zwei schmalen Gummischläuchen versehen; die Kanüle ist jetzt fertig, in die Glottis eingesetzt zu werden. Dabei muß sie in der Längsrichtung des Tieres liegen; die Einschnitte, welche das Mittelstück begrenzen, gehen schräg über die Kanüle und bilden etwa denselben Winkel gegen ihre Längsrichtung, wie die Stimmbänder des Frosches gegen die Längsrichtung des Frosches. Dann bläst man die Membran von dem entsprechenden Schlauche auf und schließt diesen mittels einer Klemmpinzette. Die Kanüle bleibt dann ohne weitere



Figur 150a.



Figur 150b.

Figur 150. Lungenkanüle, nach Öhrwall.

Maßnahmen in der Glottis sitzen; will man indessen die Kanüle noch sicherer befestigen, so kann man sie mit einem Faden, der beiderseits von ihr durch die Lippen des Frosches gezogen und um die Kanüle herumgebunden wird, festsetzen.

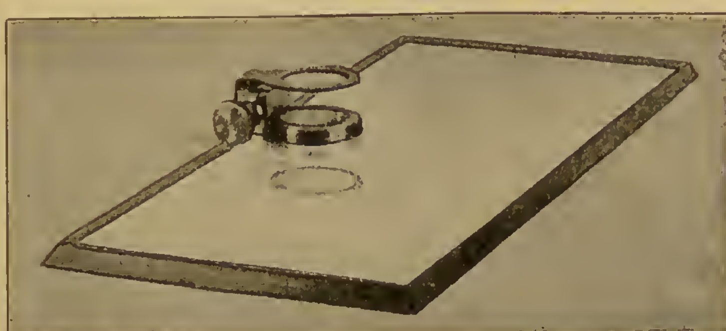
Um die Lunge aus der Leibeshöhle herauszubekommen, öffnet man mit einer Schere die Haut in der Axillarlinie in genügender Ausdehnung. Um Blutaustritt zu vermeiden, ist die erste Öffnung in der Axillarlinie etwas unterhalb der Mitte anzubringen und dann Stück für Stück die Haut aufzuheben, so daß man sieht, wo die Blutgefäße auf der Unterseite gehen, und sie allmählich weiter nach unten und oben unter Vermeidung der Gefäße, welche am zahlreichsten in der Nähe der Achselhöhle sind, zu durchschneiden. Da man also sieht, wo die Gefäße verlaufen, ist es meistens leicht, sie zu vermeiden. Wo dies nicht tunlich ist, muß man eine Ligatur anlegen.

Durch die so gemachte Öffnung tritt die Lunge beim Blasen in den entsprechenden Schlauch heraus. Zur mikroskopischen Untersuchung der Zirkulation bringt man den Frosch auf eine 20 cm lange und 8,5 cm breite Spiegelglasplatte (Fig. 151), die in der Mitte der einen Längsseite eine runde, planparallele Glasscheibe von 4 mm Dicke und 17 mm Durch-

messer trägt. Auf diese Platte wird die aufgeblasene Lunge gelagert und durch ein Zahnrad mit Trieb ein rundes Deckgläschen sanft gegen ihre obere Fläche gedrückt.

Durch stärkeres oder schwächeres Aufblasen der Lunge kann man, innerhalb gewisser Grenzen, nach Belieben die Geschwindigkeit des Blutstromes im Präparat regulieren.

An diesem Präparat ist die Bewegung des Blutes in Gefäßen von verschiedenem Kaliber, die Bewegungsart der roten und der farblosen Blutkörperchen usw. zu beobachten. Mittels eines Okularmikrometers läßt sich auch die Geschwindigkeit, mit welcher sich die roten Blutkörperchen



Figur 151. Apparat zur Beobachtung des Kreislaufes in der Froschlunge, nach Öhrwall.

bewegen, unschwer bestimmen. Man gibt ein Zeichen, wenn ein gerade fixiertes Blutkörperchen einen bestimmten Strich am Mikrometer passiert; folgt ihm dann, solange es sichtbar ist, und gibt aufs neue ein Zeichen, wenn das Blutkörperchen das letzte sichtbare Stück passiert hat. Die Zeichen können einfach durch Zuruf an einen die Uhr beobachtenden Assistenten mitgeteilt werden, oder wird auch die Zeitmessung mittels einer Uhr mit springendem Sekundenzeiger ausgeführt, oder es schließt und öffnet der Beobachter einen Stromunterbrecher, der in die Leitung zu einem elektrischem Signal eingeschaltet ist, wobei das Signal auf einen rotierenden Zylinder schreibt. In letzterer Weise bekommt man die genauesten Resultate.

E. Die Blutströmung in den Venen.

Die Bedeutung der Arterienelastizität für den kontinuierlichen Blutstrom in den Venen läßt sich sehr leicht nachweisen, wenn man mit dem Hahn der Wasserleitung einen 2 bis 3 m langen, genügend dehnbaren Schlauch von 8 bis 10 mm Durchmesser verbindet und nun durch Drehen des Hahnes Wasser im Rhythmus von etwa 1 mal in der Sekunde in den Schlauch hineintreibt. Wenn der Schlauch an seinem peripheren Ende weit offen ist, so erfolgt bei der rhythmischen Zufuhr auch die Strömung aus dem Schlauch rhythmisch.

Verengt man aber das periphere Ende des Schlauches, z. B. indem man daran ein in einer feinen Spritze ausgezogenes Glasrohr bindet,

die Spitze vertikal hält und nun Wasser im selben Rhythmus wie früher in das Rohr hineintreibt, so strömt es nun auch in den Zwischenzeiten aus dem spitzen Ende heraus, und man muß den Rhythmus der Hahndrehung ganz erheblich verlangsamen, damit unter den jetzt waltenden Umständen der Ausfluß rhythmisch wird.

Der Druck in den Venen ist sehr niedrig, und bei Tierversuchen muß man daher zum Messen desselben entweder ein elastisches Manometer mit sehr schwacher Feder, oder ein U-förmiges, mit Wasser beschicktes Rohr (Wassermanometer) anwenden. Im letzten Falle werden die Oszillationen am leichtesten dadurch registriert, daß man mit dem freien Schenkel des Manometers eine Schreibkapsel verbindet.

Dabei darf indessen der Blutstrom in den Venen nicht unterbrochen werden, und die Kanüle muß daher in einen Seitenast mit der Spitze gegen den Hauptstamm, wo der Druck zu bestimmen ist, eingesetzt werden, oder es wird eine T-förmige Kanüle zu diesem Zwecke benutzt.

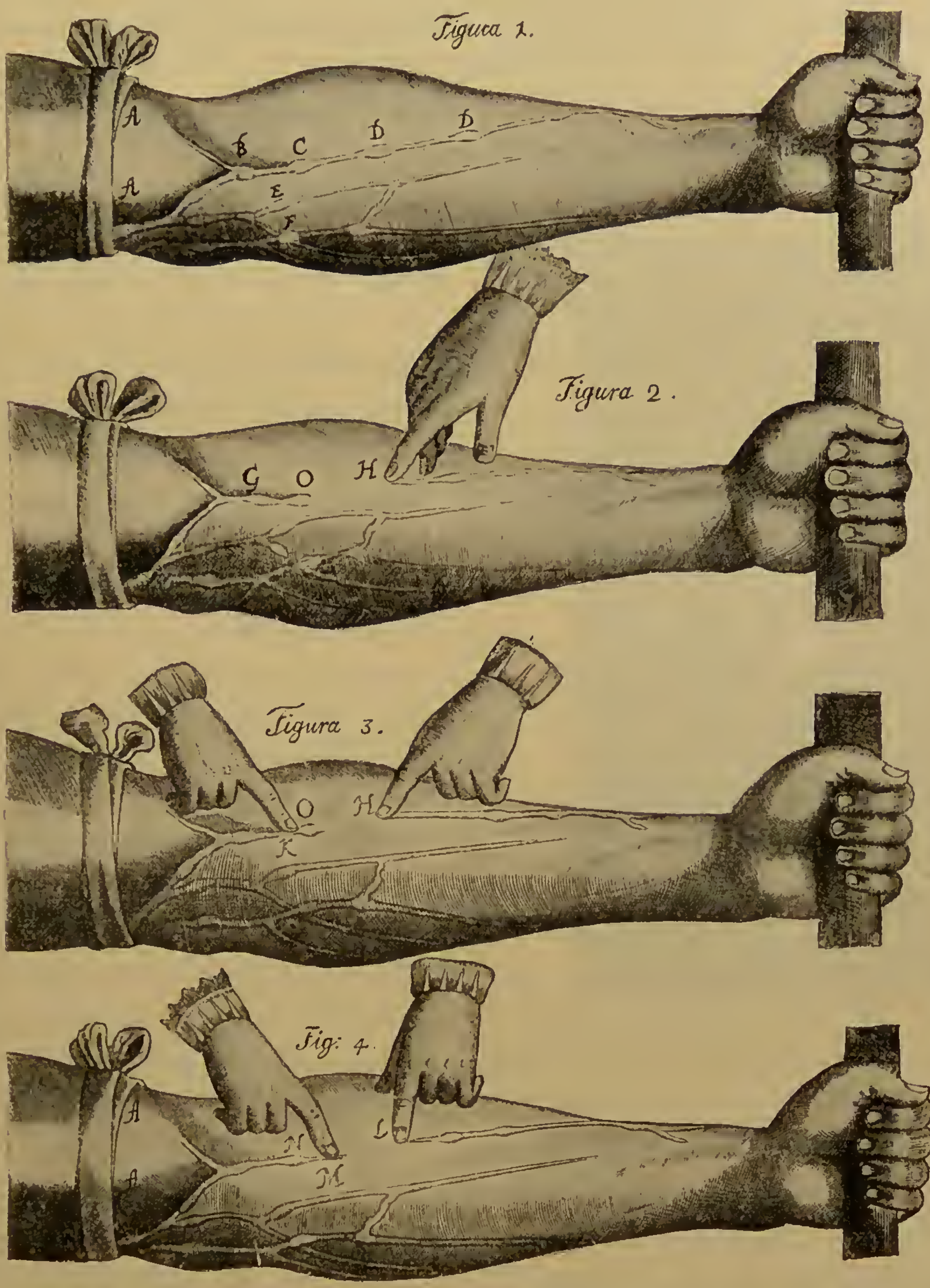
Bei der Präparation wird die Vene sowohl distal- als zentralwärts von der zu untersuchenden Stelle durch eine kleine Pinzette geschlossen; in der Mitte der solcherart isolierten Strecke wird ein Schnitt in der Längsrichtung der Vene gemacht, und dann werden die paarigen Schenkel der Kanüle dort eingeführt. Die Kanüle wird mit gerinnungshemmender Flüssigkeit gefüllt und endlich der unpaarige Schenkel mit dem Manometer verbunden.

Am Arme eines mageren Individuums kann man über die Blutströmung in den Venen und über die Bedeutung der Klappen dabei ohne weiteres mehrere lehrreiche Beobachtungen machen.

Wenn man durch einige kräftige, schnell nacheinander wiederholte, zentripetale Streichungen die Venen des Unterarmes gründlich entleert, so kann es bis zu 20 Sekunden und länger dauern, ehe die Venen sich bis zum Ellbogengelenk wieder gefüllt haben, vorausgesetzt daß die Versuchsperson nicht kurz vorher ein körperliche Arbeit geleistet hat, denn in diesem Falle füllen sich die Venen, wegen der reichlichen arteriellen Blutzufuhr, fast augenblicklich.

Wenn man oberhalb des Ellbogengelenkes eine Binde wie beim Aderlaß anbringt, treten im Verlauf der Venen am Unterarme, und zwar nicht allein an den Verästelungsstellen, sondern auch zwischen ihnen in gewisser Entfernung voneinander besondere Knoten oder Erhebungen, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, (Fig. 152, 1) auf. Diese sind aus den Venenklappen gebildet, welche also von außen sichtbar werden. Drückt man die Vene an einer Klappe *H* (Fig. 152, 2) zu und entleert sie durch Streichen bis zu der nächsten Klappe *O*, so fließt kein Blut von der oberen Seite dahin. Der zwischen den Punkten *H* und *O* befindliche Teil der Vene bleibt leer, und dennoch ist das Gefäß oberhalb *O* stark gefüllt. Das Blut ist herausgepreßt, die Vene ist entleert. Sucht man nun mit der anderen Hand das Blut von dem gefüllten, zentralen Abschnitt *O* (Fig. 152, 3) nach unten gegen den

leeren Abschnitt zu drücken, so findet man, daß man das Blut nicht dazu zwingen kann, an der Klappe vorbeizupassieren. Je kräftiger man daran preßt, um so stärker wird die Vene bei *O* erweitert, während sie



Figur 152. Harveys Demonstration der Tätigkeit der Venenklappen.

zwischen *H* und *O* fortgesetzt leer bleibt. Entfernt man dagegen den Finger bei *L* (Fig. 152, 4), so füllt sich die Vene sogleich von unten her. Daß das Blut in den Venen von der Peripherie gegen das Herz, und nicht in entgegengesetzter Richtung strömt, ist also sehr deutlich (Harvey 1628).

F. Der Lungenkreislauf.

Um den Druck im kleinen Kreislauf des Kaninchens zu bestimmen, legt man in der oben angegebenen Weise (S. 93) das Herz frei, und zwar so, daß die Lungenarterie in ihrer ganzen Ausdehnung unbedeckt liegt. Dann isoliert man durch Zerreißen des Bindegewebes zwischen der Aorta und der Lungenarterie mittels stumpfer Nadeln die beiden Gefäße voneinander, legt eine kleine Pinzette am Ursprung der Lungenarterie an, macht einen nicht zu großen Schnitt in der Längsrichtung derselben und führt die unten zu beschreibende, zu diesem Zweck besonders konstruierte Kanüle in die Wand der Arterie ein. Am kuraresierten Tiere gelingt die Operation ohne Schwierigkeit, kann aber auch, obgleich nicht ganz so leicht, am nicht-kuraresierten, nur narkotisierten Tiere ausgeführt werden.



Figur 153. Kanüle für die Lungenarterie; rechts eine Klemmpinzette.

Die Lungenarterienkanüle (Fig. 153) besteht aus einer dünnen Röhre, welche an einer der Gestalt des Gefäßes entsprechend geformten Grundplatte befestigt ist. Diese Platte wird durch den Schlitz in die Gefäßwand hineingeführt und dadurch befestigt, daß auf der äußeren Seite des Gefäßes eine genau gleiche Platte gedrückt wird. Dies geschieht mittels eines Bajonettverschlusses in kürzester Zeit.

Zur Vermeidung von Gerinnung ist das Innere der Kanüle mit einer Wachsschicht überzogen; dies läßt sich dadurch machen, daß man eine Ätherlösung von Wachs durch die vorher gut gereinigte Kanüle saugt.

Vor dem Einsetzen muß die Kanüle mit der gerinnungshemmenden Flüssigkeit gefüllt und durch eine an der Gummiverbindung angelegte Pinzette geschlossen werden.

Die Einwirkung der verschiedenen Atmungsphasen bei natürlicher und künstlicher Atmung auf den Blutdruck läßt sich an den Kurven des arteriellen Blutdruckes wie an längeren plethysmographischen Kurven vielfach studieren.

G. Gefäßnerven.

Betreffend die Gefäßnerven sind zu den schon oben beschriebenen Versuchen über den Splanchnicus und den Depressor sowie über die Zentren der gefäßverengenden Nerven noch folgende Versuche hinzuzufügen.

1. Halssympathicus und Ohr.

An einem narkotisierten Kaninchen legt man die Gefäßscheide am Halse frei, trennt wie oben beschrieben die Nerven von der Carotis und isoliert den Sympathicus vom Depressor, indem man den letzteren bis zum N. laryngeus sup. oder den Sympathicus bis zum obersten Halsganglion verfolgt.

Man bindet den Sympathicus nahe der oberen Brustapertur ab, armiert ihn mit versenkbaren Elektroden und reizt ihn mit frequenten Induktionsströmen. Ein Gehilfe hält das gleichseitige Ohr, so daß die Gefäße durchscheinen — der Versuch wird daher am besten am Albinoskaninchen ausgeführt — und der Nerv wird gereizt. Man sieht dann, wie das Ohr erblaßt, und wie Gefäße kleineren Kalibers ganz verschwinden. Beim Aufhören der Reizung erweitern sich die Gefäße wieder.

In beide äußere Gehörgänge führt man je ein Maximumthermometer und liest sie nach 5 Minuten ab; auf der Seite, wo der Sympathicus durchschnitten ist, ist die Temperatur entschieden höher als auf der entgegengesetzten Seite.

2. Halssympathicus, Chorda tympani und Glandula submaxillaris.

Um die Submaxillardrüse freizulegen, macht man am Mundboden des narkotisierten Kaninchens einen Medianschnitt durch die Haut, die sich etwa bis Mitte des Halses erstreckt; entfernt die Faszie und hat dann die Submaxillarisdrüse vor sich.

Reizt man nun den wie erwähnt präparierten Halssympathicus, so erblaßt die Drüse im höchsten Grade.

Dreht man alsdann die Drüse nach außen, so daß ihr Ausführungsgang sichtbar wird, und legt Elektroden von der Seite 40 beschriebenen Form auf denselben, so errötet die Drüse bei der Reizung sehr stark: in der nächsten Nähe des Ausführungsganges verlaufen nämlich die, der Chorda tympani entstammenden gefäßerweiternden Nerven der Drüse. Dieser Versuch zeigt also, daß die Gefäßerweiterung, welche durch Lähmung (Durchschneidung) der gefäßverengenden Nerven entsteht, lange nicht maximal ist, indem sich die Gefäße noch viel mehr erweitern, wenn nachher die gefäßerweiternden Nerven desselben Organes gereizt werden.

3. Plethysmographische Untersuchung der Gefäßreflexe.

Beim Menschen lassen sich unter Anwendung des Plethysmographen die Veränderungen in der Blutfülle des Armes unter der Einwirkung allerhand sensibler Reizungen und psychischer Erregungen unschwer registrieren; dabei wird der Registrierzylinder verhältnismäßig langsam — 1 bis 2 mm in der Sekunde — bewegt.

Als sensible Reize kommen hier Wärme und Kälte, mechanische oder elektrische Reizung der Haut usw. in Betracht.

Die Einwirkung psychophysischer Vorgänge läßt sich verfolgen, wenn man die Versuchsperson veranlaßt, eine Rechenaufgabe zu lösen oder in irgendeiner anderen Weise ihre Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Gegenstand zu richten.

ACHTES KAPITEL.

Die Verdauung.

I. Die Sekretion der Verdauungsdrüsen.

Um die Sekretion der Verdauungsdrüsen zu untersuchen, hat man in erster Linie den Ausführungsgang der betreffenden Drüse freizulegen, bzw. beim Magen dessen Höhle mit der Außenwand des Bauches in Verbindung zu setzen.

Hierbei gestalten sich die Verhältnisse wesentlich verschieden, je nachdem man das Tier am Leben erhalten will oder nicht.

Im letzten Falle, beim akuten Versuch, bindet man bei Drüsen mit Ausführungsgang eine Kanüle in den Ausführungsgang und läßt das Sekret durch diese in ein untergestelltes Gefäß tropfen oder fängt es auf irgendeine andere Weise auf, untersucht den Einfluß der direkten Reizung der entsprechenden Nerven usw. und tötet das Tier nach Ende des Versuches.

Wenn man dagegen das Tier am Leben erhalten will, verlegt man die natürliche Mündung des Ausführungsganges mit möglichst großer Schonung nach der äußeren Haut, befestigt sie dort und sucht sie daselbst einheilen zu lassen. Bei einem derartig operierten Tiere hat man die Gelegenheit, die Sekretion der Drüse unter so normalen Verhältnissen wie möglich und vor allem die Abhängigkeit derselben von allerlei reflektorischen Einwirkungen zu untersuchen.

Bei den Magendrüsen kann keine andere Methode, ihre Sekretionsbedingungen zu erforschen, in Betracht gezogen werden, als eine Operation, durch welche die Höhle des Magens mit der äußeren Bauchwand in Verbindung gesetzt wird.

Zum Studium der Gallenabsonderung hat man öfters statt des Ausführungsganges der Leber die Gallenblase geöffnet und mit der äußeren Bauchwand verbunden.

Die Öffnungen, durch welche die Ausführungsgänge der Drüsen, bzw. die Höhle des Magens und der Gallenblase mit der Hautoberfläche kommunizieren, heißen Fisteln. Man spricht also von einer Magenfistel, einer Gallenblasenfistel, einer Pankreasfistel usw.

Die beiden Untersuchungsweisen, die akute und die chronische, schließen sich nicht aus, sondern ergänzen in vielerlei Beziehungen einander, und sind daher alle beide für die Kenntnisse von den Bedingungen der Sekretion notwendig.

Ich werde im folgenden nur die allerwichtigsten Versuche über die Sekretion der einzelnen Verdauungsdrüsen beschreiben.

A. Die Speicheldrüsen.

1. Akute Versuche an der Gl. submaxillaris.

An einem mit Chloral narkotisierten Hunde (die Mischung Morphin + Atropin darf hier nicht vorkommen, da das Atropin die Drüsensekretion aufhebt) macht man an der unteren Seite der Schnauze in einer Entfernung von etwa 1 cm vom Rande des Unterkiefers einen mit ihm parallelen Hautschnitt, der etwa $1^1/_2$ bis 2 cm vom Kinnwinkel beginnt und sich nach hinten etwa bis zum Winkel des Unterkiefers erstreckt. Nach Abpräparierung der Faszie wird der M. mylohyoideus in seiner ganzen Länge quer durchschnitten. Nach Lösung der äußeren Hälfte dieses Muskels bemerkt man den quer durch die Wunde gehenden N. lingualis. Dieser kreuzt die längs der lateralen Fläche des M. styloglossus verlaufenden Ausführungsgänge der G. sublingualis und der G. submaxillaris, welche an dieser Stelle leicht aufzufinden sind. Wenn sie nicht gleich deutlich zu sehen sind, ist es vorteilhaft, etwas Reizendes (z. B. schwache Essigsäure) in den Mund des Tieres zu bringen: bei der dann auftretenden Speichelsekretion füllen sich die Ausführungsgänge mit frisch sezerniertem Speichel und sind nun leicht zu erkennen.

Der Ausführungsgang der Gl. submaxillaris liegt näher der Mittellinie und ist dicker. Man befreit ihn durch Präparation mit stumpfen Instrumenten von umgebenden Scheiden und Gefäßen, legt einen Faden unter ihn und bindet in derselben Weise wie bei der Einbindung der Gefäßkanülen eine Glaskanüle in ihn ein.

Um bei der Reizung des N. lingualis den die Submaxillarisdrüse versorgenden Ast zu treffen, verfolgt man diesen Nerven so weit zentralwärts wie möglich, bindet ihn ab, schneidet ihn zentral von der Ligatur ab und armiert ihn mit versenkbaren Elektroden.

Der zweite Absonderungsnerv der Gl. submaxillaris, der Halssympathicus, ist beim Hunde in einer gemeinschaftlichen Scheide mit dem N. vagus eingeschlossen. Diese Scheide wird gespalten und der Sympathicus von dem Vagus isoliert.

Der bei der Reizung der sekretorischen Nerven entstandene Speichelfluß wird dadurch registriert, daß man die Flüssigkeit auf eine kleine Glimmerscheibe fallen läßt, die an das Ende des Hebels einer Schreibkapsel geklebt ist; durch einen Schlauch wird diese Kapsel mit einer anderen Schreibkapsel, die an einem Registrierapparat die fallenden Tropfen aufschreibt, verbunden. — Auch kann man mit der Kanüle eine horizontale, mit einer Papierskala versehene Glasröhre verbinden und an dieser die Schnelligkeit der Absonderung ablesen. — Bei starker Absonderung fängt man den Speichel in einen in 0.1 ccm geteilten Meßzylinder auf.

Um den bei der Sekretion in der Drüse entwickelten Druck zu untersuchen, verbindet man die Drüsenkanüle in gewöhnlicher Weise mit einem Quecksilbermanometer und reizt den N. lingualis. Dabei kann der Speichel nicht frei ausfließen, sondern sammelt sich in immer wachsender Menge in der Manometerleitung. Das Quecksilber steigt infolgedessen allmählich immer höher.

Es ist sehr lehrreich, den Blutdruck in der Carotis der entgegengesetzten Seite gleichzeitig zu registrieren; der von dem Speicheldrüsenmanometer angegebene Druck kann dabei endlich einen Stand erreichen, der wesentlich höher als der des Carotismanometers ist.

Die Speichelmenge, die bei Reizung des Sympathicus erhalten wird, ist viel spärlicher als die durch den Lingualis erhaltene.

Man reizt wechselweise den Lingualis und den Sympathicus, sammelt den dabei erhaltenen Speichel in je einem Reagensgläschen auf und bestimmt in der oben (S. 76) angegebenen Weise ihre relative Viskosität. Es zeigt sich dabei, daß die Viskosität des Lingualisspeichels wesentlich geringer als die des Sympathicusspeichels ist.

Zur Demonstration der Speichelabsonderung im akuten Versuche ist es zweckmäßig, Kanülen in die Ausführungsgänge der beiden Gl. submaxillares einzuführen, auf der einen Seite den Lingualis zu unterbinden und reizen, auf der anderen Seite ihn aber unversehrt zu lassen. Wenn außerdem der Halssympathicus an beiden Seiten durchschnitten wird, lassen sich auf der einen Drüse die Reflexe, auf der anderen die Wirkungen der direkten Reizung der in der Lingualis verlaufenden sekretorischen Nerven nachweisen.

Das einfachste Mittel, eine reflektorische Speichelabsonderung im akuten Versuch hervorzurufen, besteht darin, auf die Zunge des Tieres eine verdünnte Essigsäurelösung zu bringen: in dem Ausführungsgang derjenigen Drüse, deren Nerv unversehrt ist, tritt sofort Speichel hervor, während der Ausführungsgang der anderen Seite keine Spur von Speichel aufweist.

Nachdem alle diese Versuche gemacht worden sind, vergiftet man das Tier mit Atropin — 0,001 g pro Kilogramm Körpergewicht subkutan; — die Reizung des Lingualis ist nun ganz wirkungslos, dabei errötet die Drüse dagegen ganz wie vorher.

2. Die Dauerfistel der Gl. parotis.

Um die unter normalen Verhältnissen stattfindende Sekretion der Speichel-
lrüsen sowie deren Veränderungen unter verschiedenen Bedingungen näher
ıntersuchen zu können, ist es notwendig, Tiere mit Dauerfisteln zur Ver-
'ügung zu haben, denn bei solchen Tieren findet die Speichelabsonderung
·öllig normal statt, nur mit der Ausnahme, daß der Speichel nach außen
ıbgeleitet und nicht in die Mundhöhle ausgegossen wird.

Die Präparation des Ausführungsganges geschieht folgendermaßen.
\m mit Morphin + Atropin narkotisierten, in der Seite 24 angegebenen
Veise ohne Jodtinktur desinfizierten Tiere sucht man die Mündung des
)uctus Stenonianus, da wo er sich an der Wangenschleimheit dem 2. oberen
Aolaren gegenübar befindet, auf, und führt in den Ausführungsgang eine
tumpfe Sonde aus weichem Silberdraht ein, um ihn sichtbar zu machen, so
laß er bei der Operation nicht angeschnitten oder verletzt wird.

Dann präpariert man die Mundhöhlenschleimhaut mit der Mündung des
Ausführungsganges in einer Ausdehnung von $^1/_2$—1 qcm ab, sticht die
Mundhöhlenwand an dieser Stelle mit einer schmalen Skalpelle durch und
ergrößert ein wenig die Hautwunde durch Abschneiden ihres Randes. Das
solierte Stückchen der Schleimhaut wird durch die Öffnung geführt, was
ladurch wesentlich erleichtert wird, daß man die in den Ausführungsgang
ingeführte Sonde biegt und nebst dem Schleimhautstückchen durch die
)ffnung an der Wange führt. Nur muß man genau darauf achten, daß der
Ausführungsgang nicht gedreht wird. Zu diesem Zwecke empfiehlt es sich,
chon im Anfang der Operation einen Faden durch den vorderen Teil der
Schleimhautlappen zu ziehen und mittels dieses Fadens die Schleimhaut
ım hinteren Teil der Hautwunde zu befestigen. Der übrige Teil des isolierten
Schleimhautstückchens wird mit genügend zahlreichen Nähten an der Haut
ixiert. Ebenso sorgfältig wird auch die Schleimhautwunde in der Mund-
ıöhle vernäht. Nach der Operation wird sorgfältig beobachtet, daß keine
3lutung aus der Wunde auftritt.

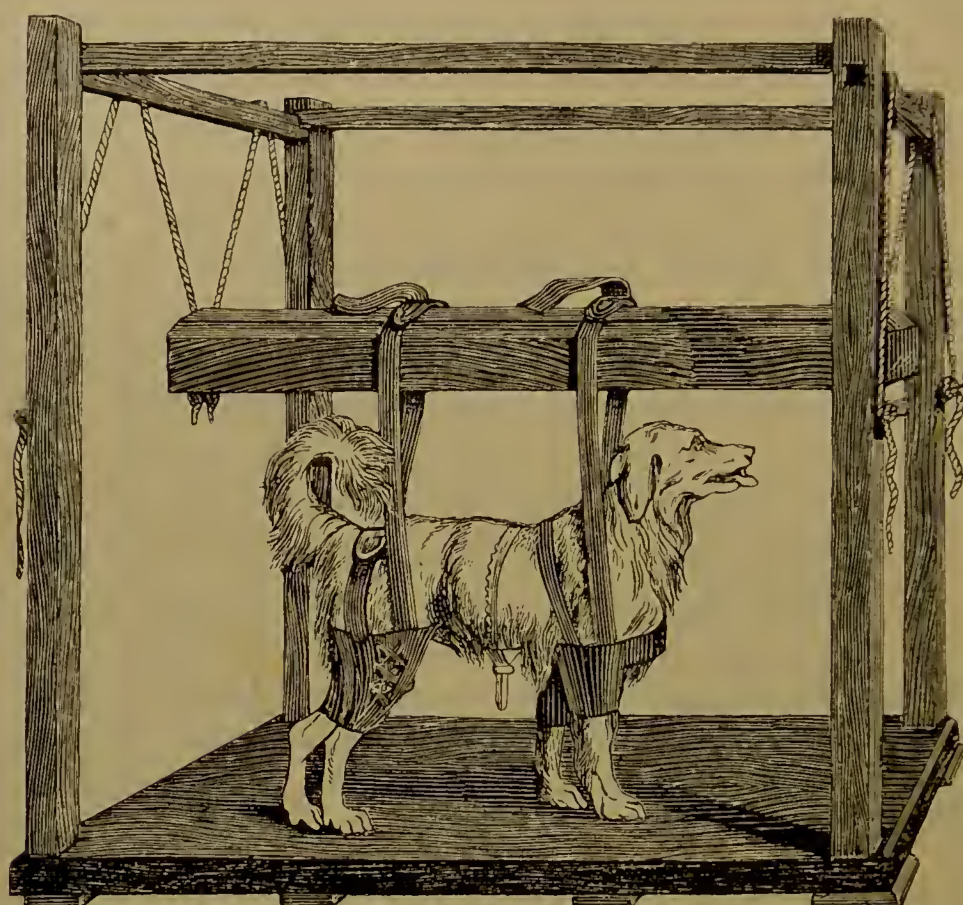
Bei der Nachbehandlung (vgl. auch oben S. 24, 25) ist die Fistelmün-
lung täglich von Brocken zu reinigen, indem man dieselben aufweicht,
ınd die Durchgängigkeit des Kanals dadurch zu prüfen, daß man dem
Hunde Zwieback zu fressen gibt oder ihm Säure ins Maul eingießt.

Bei der Untersuchung der Absonderung soll das Tier in einem besonderen
Gestelle gehalten werden, denn beim ganz freien Tier ist es nicht möglich,
len Versuch befriedigend durchzuführen.

Die Vorder- wie die Hinterbeine werden in passende Hosen aus Leder
oder starker Leinwand gesteckt. An diesen sind Gurte befestigt, mittels
velcher das Tier in der aus Figur 154 ersichtlichen Weise an das Gestell
'estgebunden wird.

Um den sezernierten Speichel bei einer Dauerfistel zu sammeln, benutzt
PAWLOW folgende Vorrichtung.

Mittelst eines Kittes[1]) wird ein kleiner Trichter mit breitem, flachem Rande und rechtwinklig (für die Parotis) abgebogenem unterem Ende, der Fistelmündung gegenüber, an die Haut geklebt (Fig. 155). Man darf den Trichter nicht anlegen, bevor der aufgestrichene Kitt genügend abgekühlt ist, denn sonst entsteht durch den wiederholten Wärmereiz ein nässendes Hautekzem. Auch darf der Trichter nicht vor der vollständigen Heilung der Wunde angelegt werden. Es genügt, das Fell an der Stelle, wo man den Trichter ankleben will, mit einer Schere kurz abzuschneiden, es darf nicht rasiert werden. Ferner muß man, um dem Tiere keinen Schmerz zu be-



Figur 154. Gestell für Hunde beim Sammeln der Verdauungssekrete, nach Ludwig.

reiten, vor der Abnahme des Trichters den Kitt etwas anwärmen, indem man mit einem erhitzten Metallstabe den Rand des Trichters streicht.

Am unteren Ende des Trichters werden mit Hilfe desselben Kittes zwei Drahthäkchen befestigt, an welche mittelst Drahtösen kleine bis auf $^1/_5$—$^1/_{10}$ cm genau graduierte, oben mit einem Halse versehene Zylinder gehängt werden.

Zum Schutz des Zylinders vor fremden Stoffen ist es zweckmäßig, über dessen Öffnung am unteren Ende des Trichters eine Art Schutzdach aus weichem, durchsichtigem und wasserdichtem Stoffe (Pergamentpapier) zu befestigen.

[1]) 50 Teile Harz, 40 Teile Eisenmennige (Fe_2O_3) und 25 Teile gelbes Wachs.

Bei Versuchen am Hunde mit Dauerfistel bringt man die in ihrer Wirkung auf die Speichelsekretion zu untersuchenden Substanzen ins Maul des Tieres hinein. Wenn man sich darum bemüht, daß das Tier gleichzeitig die betreffenden Substanzen — z. B. Sand; verschiedenfarbige Flüssigkeiten, welche ins Maul eingegossen werden; usw. — auch mit dem Gesicht wahrnimmt, so hat man bald die Gelegenheit zu beobachten, wie



Figur 155. Trichter zum Auffangen des Speichels, nach Pawlow.

die gleiche Sekretion auch in dem Falle auftritt, wenn die betreffenden Substanzen dem Tiere nur vorgezeigt werden.

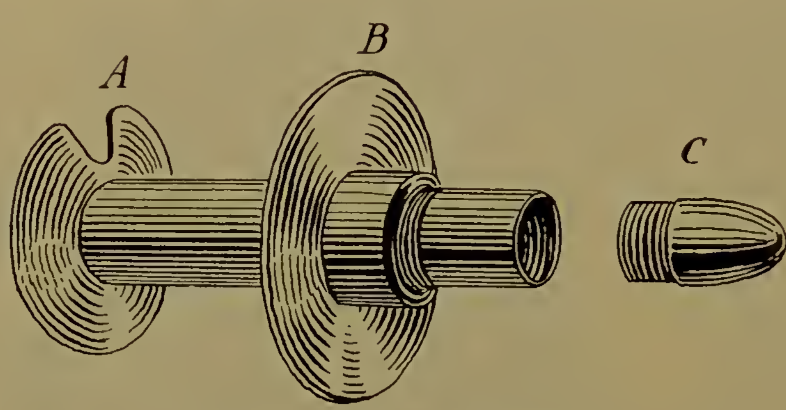
Bei allen diesen Versuchen soll man die unter verschiedenen Bedingungen abgesonderten Portionen des Speichels auf ihre Viskosität untersuchen.

An die Ausführungsgänge der Gl. submaxillaris und der Gl. sublingualis wird eine Dauerfistel in ganz ähnlicher Weise angelegt; auch die weitere Behandlung des Tieres stimmt mit der bei einer Parotisfistel genau überein. Nur soll der Trichter, welcher der Fistelöffnung gegenüber an die Haut angelegt wird, gerade nach unten gerichtet sein.

B. Die Drüsen der Magenschleimhaut.

1. Anlegung einer Magenfistel.

Um eine Dauerfistel am Magen anzulegen, macht man an dem, wie oben Seite 24 beschrieben, vorbereiteten Hunde einen Schnitt von 6—7 cm Länge, angefangen vom Schwertfortsatz genau längs der Mittellinie. Durchschnitten werden die Haut und die Linea alba. Mit zwei Fingern wird der Magen getastet, ergriffen und nach außen hervorgezogen. An der Anheftungsstelle des Oments und je nach der Größe des Tieres etwa 5—7 cm rechts vom Pylorusteil wird mittels einer Nadel mit Seidenfaden ein ovales Feld von 2—3 cm im längeren Durchmesser umstochen (Beutelnaht). Durch einen Schnitt in der Mitte desselben wird in die Magenhöhle die untere Scheibe *A* einer Magenfistelröhre (Fig. 156) eingeführt. Diese Scheibe hat einen kleinen Ausschnitt, welcher es ermöglicht, die ziemlich große Scheibe durch den



Figur 156. Magenfistelröhre.

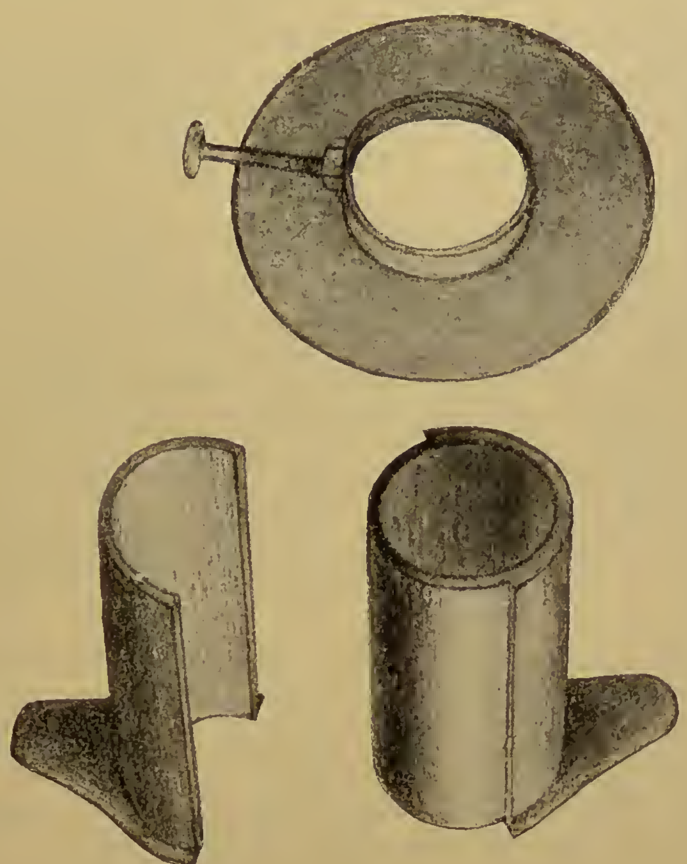
verhältnismäßig kleinen Einschnitt einzuführen. Nach Einführung der Scheibe wird die Beutelnaht zugezogen und geknöpft, wobei beobachtet werden muß, daß die Magenschleimhaut nirgends hervordringt. Es ist nützlich, danach noch eine zweite Beutelnaht anzulegen, um den Verschluß des Magens zu sichern. Jetzt wird die vordere Magenwand mittels 2—4 Seidenfäden an der vorderen Bauchwand befestigt. Beim Zuziehen dieser Nähte wird die Röhre der Magenkanüle in der Wunde fixiert und die letztere vollkommen geschlossen. Noch besser ist es, die Magenkanüle durch ein für sie in der vorderen Bauchwand besonders gemachtes Loch durchzuführen.

Nachdem man die Hautwunde mit Alkohol und Äther getrocknet, wird sie mit Kollodium bepinselt und mit einem in Kollodium getauchten dünnen Wattestreifen bedeckt.

Gewöhnlich wird die Wunde per primam intentionem geheilt und dann werden die Suturen nach 5—6 Tagen entfernt. Sollte dies indessen nicht stattfinden, so wird die Wunde mit Xeroform behandelt (vgl. S. 25).

Nach der Operation muß genau beobachtet werden, daß die äußere Platte *B* der Kanüle nicht zu stark gegen die Haut drückt; wenn unter der-

selben eine Ulzeration entstehen sollte, wird die Platte etwas hinausgeschraubt, ein Gazestreifen zwischen ihr und der Haut angelegt und das Geschwür in gewöhnlicher Weise mit Xeroform behandelt. Solcherart können selbst sehr schlecht aussehende Geschwüre in wenigen Tagen geheilt werden. — Die Kanüle wird durch das Stück *C* geschlossen.



Figur 157. Magenfistelröhre, nach Pawlow.

Wenn die Kanüle aus der Fistel herausfallen würde, wird sofort eine neue, zusammenlegbare Röhre (vgl. Fig. 157) in die Fistelöffnung hineingeführt.

Bei den einfachen Magenfisteln kann man indessen keinen reinen Magensaft bekommen, weil derselbe immer durch herabgeschluckten Speichel usw. mehr oder weniger verunreinigt wird. Um diesem Übelstand vorzubeugen, macht man dem Tiere, nachdem es sich von der ersten Operation erholt hat, noch eine Fistel am Ösophagus.

2. Anlegung einer Ösophagusfistel.

Der Schnitt wird an der linken Seite des Halses an den inneren Rand des M. sterno-cleidomastoideus gelegt, angefangen vom unteren Rande des Kehlkopfes in einer Länge von zehn und mehr Zentimetern, je nach der Größe des Tieres. Die Haut wird durchschnitten und der Raum zwischen dem M. sterno-cleidomastoideus und den auf der Luftröhre liegenden Muskeln frei präpariert. Unter der Luftröhre in der Mitte der Wunde wird die Speiseröhre mit einer Pinzette ergriffen und in ihrem ganzen Umfange, in

einer Länge von 2—3 cm abpräpariert. Die Muskeln und die Faszia unter dem Ösophagus werden mit ein paar Suturen zusammengenäht, um die tieferen Schichten des Halses vor Infektion zu schützen.

Sodann wird der Ösophagus am oberen und unteren Teil der frei präparierten Strecke durch einige Suturen an den Muskeln und der Faszia befestigt.

Vor der Durchschneidung des Ösophagus legt man, um das Austreten hinabgeschluckten Speichels zu verhindern, um dessen oberes Ende einen dünnen Gazestreif oder einen dicken Baumwollefaden und befestigt diesen mittelst einer Péanpinzette.

Nach der nun stattgefundenen Durchschneidung des Ösophagus wird der obere Stumpf in einen Tupfer gehüllt, während der untere Stumpf im unteren Wundwinkel exakt angenäht wird. Dann wird schließlich der obere Stumpf im oberen Wundwinkel und desgleichen die Mitte der Wunde, zwischen den in den Wundwinkeln angenähten Enden der Speiseröhre, sorgfältig angenäht. [An dem Orte, wo der oben erwähnte Gazestreif aus der Wunde herausragt, werden Suturen gelegt, aber nicht zugezogen. Die Péanpinzette wird entfernt, der Gazestreif weggenommen und die letzten Suturen zugezogen.]

Hauptregel bei der Operation ist, daß man die Operation absolut rein macht und eine Verunreinigung der tiefen Wunde verhindert, wo eine einmal begonnene Eiterung rasch und intensiv um sich greift. Eine oberflächliche Infektion wird mit Xeroform behandelt, und im allgemeinen heilt die Wunde per secundam intentionem nach etwa einer Woche. (Über die Nachbehandlung vgl. S. 25.)

Die Anlegung der Magenfistel geht in der Regel der Ösophagotomie um 3—4 Wochen voraus, d. h. die Ösophagotomie wird ausgeführt, nachdem sich schon ein die Fistelröhre fest umfassendes Narbengewebe gebildet hat. Wenn dies aus irgendeinem Grunde nötig ist, kann indessen die Ösophagusfistel auch früher angelegt werden. Eventuell kann man auch ohne vorhergehende Magenfistel eine Ösophagusfistel anlegen.

Theoretisch ist es allerdings am richtigsten, dem Tiere Wasser und Nahrung durch die Magenfistel zuzuführen, bis die Ösophagusfistel geheilt ist. Dies ist indessen, besonders wenn man keine Magenkanüle mit Ventil zur Verfügung hat, ziemlich unbequem, und praktisch gelangt man zu ebenso guten Resultaten, wenn man mittels einer Magensonde das Tier von Anfang an durch die untere Fistelöffnung des Oesophagus füttert.

Bei Fütterung durch die Magenfistel wird feste Nahrung in Stückchen durch die geöffnete Fistel in den Magen gelegt. Flüssigkeiten werden eingegossen, indem man durch einen durchbohrten Kork mit einfachem Ventil die Fistelröhre verschließt.

In Anbetracht des Speichelverlustes und besonders bei oft wiederholtem Sammeln von Magensaft ist es erforderlich, dem Hunde viel Flüssigkeit zuzuführen. Falls es nötig ist, kann man dann, ohne Schaden

für das Tier, jeden zweiten Tag Magensaft sammeln und das im Verlaufe eines längeren Zeitraumes. Die jedesmal gewonnene Saftmenge kann bei großen Hunden $1^1/_2$ Liter betragen.

3. Scheinfütterung.

Um den Magensaft zu sammeln, bindet man den Hund an dem oben beschriebenen Gestell, stellt vor ihn eine ziemlich weite Schale mit feinstens zerkleinerten Stückchen irgendwelcher Nahrung, so daß der Hund letztere selbst erreichen kann. Der verschluckte Bissen fällt jedesmal wieder in die Schale zurück. Unter die Magenfistel wird ein ziemlich weiter, dickwandiger, sich unten in eine Röhre verjüngender Zylinder gehängt. An die Stelle, wo sich der Zylinder verjüngt, wird Glas- oder Holzwolle gelegt, um den Schleim zurückzuhalten. Auf das verjüngte Ende kommt eine ziemlich lange Kautschukröhre, deren anderes Ende etwas abseits vom Tier direkt oder mittelst eines Hakens aus Glas oder Hartgummi in ein dickwandiges, sich nach unten kegelförmig erweiterndes Gefäß mündet; in diesem wird der ganz reine Magensaft gesammelt.

An einem solchen Tier hat man die Gelegenheit, alle Versuche über die unter Vermittlung der Eßlust stattfindende Absonderung von Magensaft auszuführen. Auch lassen sich an ihm, unwissend, am besten wenn es schläft, verschiedene Lösungen in den Magen hineinbringen und deren Einfluß auf die Magensekretion etwas untersuchen. Eine eingehende Untersuchung dieser Frage ist indessen nur unter Anwendung isolierter Fundus- oder Pylorusfisteln möglich.

C. Die Bauchspeicheldrüse.

1. Beobachtung der Bauchspeicheldrüse am lebenden Kaninchen.

Beim Kaninchen kann man am lebenden Tiere den Sekretionsvorgang des Pankreas direkt beobachten. Zu diesem Zwecke macht man am narkotisierten, jungen Tiere den Bauchschnitt in der Linea alba und zieht ein Stück des Mesenteriums des Dünndarms hervor. Zwischen dessen beiden Blättern liegt die Bauchspeicheldrüse als eine dünne braungelbe Masse, und man kann sie bei ungestörter Zirkulation unter das Mikroskop bringen und bei ziemlich starker Vergrößerung beobachten. Nur hat man darauf zu achten, daß die Verdunstung möglichst vermieden wird (Kühne).

2. Anlegung einer Pankreasfistel am Hunde.

Der Ausführungsgang der Bauchspeicheldrüse wird beim Hund in folgender Weise aufgesucht.

Bauchschnitt (ohne Jodpinselung) in der Linea alba, vom Prozessus xiphoideus 5—6 cm nach unten. Im rechten Hypochondrium tastet man

mit den Fingern das Duodenum und zieht es nebst dem Pankreas heraus. Zuerst sucht man den großen Pankreasgang; dieser liegt gewöhnlich 2—3 cm oberhalb der Stelle, wo die Pankreasdrüse sich vom Duodenum entfernt. Manchmal ist der Pankreasgang direkt von Blutgefäßen und Fettgewebe verdeckt, so daß das Abbinden der Gefäße und die Präparierung des Fettgewebes nötig wird. Nachdem der Pankreasgang gefunden ist, präpariert man die Drüse vom Duodenum vollkommen bis zu der hinteren Fläche nach oben und nach unten vom Ausführungsgange $^1/_2$—1 cm weit nach beiden Seiten ab.

Oberhalb und unterhalb des Ausführungsganges wird je eine Darmklemme (Fig. 158) angelegt.

An beiden Seiten des Pankreasganges wird jetzt je eine Hohlsonde eingeführt. Diese werden an der Rückseite des Duodenums gekreuzt, und nun schneidet man längs der Rinnen der Sonden mit einer Schere, von dem Innenrand des Duodenums anfangend, gleichzeitig beide Darmwände bis zu $^1/_3$—$^1/_2$ der Breite des zusammengelegten Darmes vordringend durch. Dabei ist an der vorderen Darmwand darauf zu achten, daß das Ende des Pankreasganges sich an dem abgeschnittenen Darmstücke befindet. So erhält man ein Stück Darmwand mit dem natürlichen Ende des Ductus Wirsungianus. Die Darmwunde wird fast ohne bemerkbare Veränderung der Breite des Darmes zugenäht, und das ausgeschnittene Darmstück wird mit der Schleimhaut nach außen in die Öffnung der Bauchwand angenäht. Zuvor wird das Duodenum mittels zweier seidenen Ligaturen, welche zwischen dem Pankreas und dem Duodenum 1—2 cm vom Pankreasgang auf beiden Seiten daneben geführt werden, zur Bauchwand angezogen. Die Ligaturen werden mit ihrer einen Hälfte durch die Bauchwand an den Enden der Wunde, mit ihren anderen Hälfte durch die Wunde selber geführt und ohne besonderes Anziehen zugebunden. Sie werden am zweiten oder dritten Tage nach der Operation abgenommen. Um das herausgeschnittene Darmstück genau der Hautwunde anzupassen, schneidet man von den Rändern der Wunde entsprechende Stückchen der Haut heraus (Pawlow). (In Bezug auf das Schließen der Bauchwunde vgl. oben S. 24.)

Infolge des beständigen und starken Verlustes an Pankreassaft durch die Fistel erkranken die meisten Tiere 1—1$^1/_2$ Monate nach der Operation und sterben nach kurzer Zeit. Durch eine geeignete Diät (vorwiegend Milch und Brot unter Hinzufügung von Soda zur Kost) kann man diese Erkrankung aufschieben und abschwächen, aber nicht ihr vorbeugen.

Auch die beständige Reizung und das Zerfressen der Bauchhaut und der Beine durch den herausfließenden Saft stellt einen überaus großen Übelstand dar. Dies Übel wird durch häufiges Waschen der gereizten Haut und durch poröse Unterlagen aus Sand, Sägespänen usw. bedeutend vermindert (Pawlow).

Durch folgendes Verfahren hat man diese Übelstände wesentlich vermeiden können. Nachdem die Fistel schon ganz hergestellt ist und auf

der Haut eine Schleimhautpapille mit der normalen Öffnung des Pankreasganges hervortritt, wird die Schleimhaut ganz genau abpräpariert und unter ihr der Pankreasgang durchschnitten, worauf die Ränder des Ganges sorgfältig an die Ränder der kleinen Wunde angenäht werden. Da nach dem Entfernen der Darmschleimhaut der herausfließende Pankreassaft auf Eiweiß gar nicht oder fast gar nicht aktiv ist, übt der Saft weder auf die Haut noch auf die Wunde, welche rasch zu heilen anfängt, eine reizende und zerstörende Wirkung aus. Durch tägliche vorsichtige Katheterisation der Öffnung des Pankreasganges kann man erreichen, daß sich ein richtiger narbiger Eintrittskanal in den Pankreasgang bildet. Wenn der Saft nicht gesammelt werden soll, schließt sich der narbige Gang dank seiner Elastizität und infolge der Bewegungen und der Anspannung der Haut — der Saft fließt also durch den kleinen Pankreasgang in den Darm, und die Bauchwand bleibt ganz trocken. Bei der Beobachtung des Sekretionsprozesses und beim Sammeln des Saftes führt man für die Dauer des Versuches durch den narbigen Gang in den Pankreasgang ein Metall- oder Glasrohr ein und fixiert es durch ein dünnes Kautschukrohr, welches um den Rumpf gebunden wird (Pawlow).

An einem solchen Tiere hat man die Gelegenheit, die Wirkungen der verschiedensten per os oder subkutan eingeführten Substanzen auf die Sekretion des Pankreas zu studieren. Zu diesem Zwecke bringt man das Tier in das Gestell, fängt die aus der Fistel strömende Flüssigkeit in ein graduiertes Rohr auf und liest den Stand der Flüssigkeitssäule von Zeit zu Zeit in bestimmten Intervallen ab.

Die vom Duodenum aus auf die Pankreasabsonderung ausgeübte Einwirkung studiert man zweckmäßig an akuten Fisteln, indem man nach der Freilegung des Ausführungsganges in diesen eine Kanüle einführt und sie mit einer horizontal gelegten und mit einer Skala versehenen Röhre, in welche man die Absonderungsgeschwindigkeit ablesen kann, verbindet. Nachdem man eine Zeitlang die ohne irgendwelche Eingriffe stattfindende Sekretion beobachtet, eventuell konstatiert hat, daß keine Sekretion vor sich geht, spritzt man mit einer Pravazschen Spritze 50 ccm einer 0,4 bis 0,5 prozentigen Salzsäurelösung in das Duodenum ein. Nach kurzer Zeit steigt die Absonderung wesentlich an, oder sie beginnt, wenn keine Sekretion vorher stattfand (Pawlow).

Auf dieselbe Weise können natürlich auch andere Substanzen in ihrer Wirkung vom Darm aus auf die Pankreasabsonderung untersucht werden.

D. Die Gallenabgabe.

Am Hunde wird eine Fistel an der Gallenblase in folgender Weise angelegt. Man macht einen 5—6 cm langen Schnitt in die Linea alba vom Prozessus ensiformis an. In dem rechten Hypochondrium faßt man mit den Fingern oder mit einer Péanpinzette die Spitze der Gallenblase an und zieht

sie vorsichtig in die obere Ecke der Wunde, wo man sie mit einigen Nähten am Rande der Wunde fixiert. Hierauf näht man den übrigen Teil der Wunde zu, schneidet den Gipfel der Gallenblase innerhalb der Nähte ab und näht die Ränder an dem Rand der Bauchwand sorgfältig zu.

Auch kann man die Gallenblasenfistel, unter Anwendung einer Kanüle, in ganz derselben Weise wie die Magenfistel anlegen.

Nachdem die Gallenblase angewachsen ist, muß man die Fistel täglich katheterisieren, damit sie sich nicht schließt. Um Galle zu erhalten, werden ganz einfach auf einige Zeit Röhrchen in die Fistel eingeführt.

E. Die Absonderung von Darmsaft.

1. Anlegung einer Darmfistel.

An einem Hunde, der 24 Stunden lang gehungert hat und dem am Abend vor der Operation Kalomel in einer Gabe von etwa 0,5 g gegeben worden ist, wird durch einen Schnitt in die Linea alba eine Darmschlinge herausgezogen und an zwei Stellen durchschnitten, wobei man sich natürlich



Figur 158. Darmklemme.

sorgfältig davor hüten muß, das Mesenterium zu beschädigen und Darminhalt in die Bauchhöhle zu bekommen. Letzterem wird am sichersten dadurch vorgebeugt, daß man unter der Darmschlinge sterile Tücher anbringt, sowie an den Stellen, wohin der Schnitt gelegt werden soll, je zwei Darmklemmen von dem in Figur 158 dargestellten Aussehen anlegt und den Schnitt zwischen beiden Klemmen führt.

Das obere und untere Ende des Darmes werden aneinandergelegt, so daß die Mesenterialansätze nicht gedreht werden. Durch eine fortlaufende Naht faßt man sämtliche Schichten der Darmwand, am meisten die Serosa, am wenigsten die Mucosa. Der Faden des ersten Knotens bleibt lang stehen, und in einfach fortlaufender Naht werden ohne Unterbrechung die Ränder ringsherum in feste Berührung gebracht, bis man das letzte Ende des Fadens mit dem ersten stehengebliebenen verknüpft. Nach Reinigung der Nahtlinie durch Spülen mit warmer Borsäurelösung und Wechseln der untergelegten sterilen Tücher legt man nun die wirkliche Vereinigungsnaht, indem man mit möglichst feinen Nadeln und Seide eine zirkulare Naht anbringt und dabei unter Einstülpen der Serosa diese und die Muscularis erfaßt.

Nachdem also die Kontinuität des Darmes wiederhergestellt ist, zieht man die freien Enden des isolierten Darmstückes aus der Bauchwunde,

fixiert jedes Ende derselben in etwa 2 cm Entfernung von der Schnittstelle am Peritoneum, Faszien und Muskeln und näht die Bauchwunde zusammen, und zwar faßt man dabei auch das zu dem hervorgezogenen Darmstück gehende Mesenterium mit den Suturen. Schließlich werden die freien Enden des Darmstückes durchschnitten und ihre Ränder an diejenigen der Bauchwunde sorgfältig genäht.

Bei diesem Verfahren (Vellas Darmfistel) steht also das isolierte Darmstück an seinen beiden Enden mit der Haut in Verbindung.

Um das Herausfallen des Darmes zu verhindern, ist es zweckmäßig, das untere Darmende enger zu gestalten und vor Schließung der Bauchwunde die beiden Enden der Schlinge in der Bauchhöhle auf einer gewissen Strecke zusammenzunähen.

Um aus der Fistel Darmsaft zu bekommen, bringt man das Tier in das Gestell und führt einen mit vielen Löchern versehenen Schlauch geeigneter Größe in das isolierte Darmstück ein. Das aus der Fistel herausragende Ende des Schlauches wird mittels eines um den Rücken gelegten Bandes, das auch ein Reagenzgläschen zum Aufsammeln des infolge der mechanischen Reizung der Darmschleimhaut abgesonderten Darmsaftes trägt, fixiert.

2. Die Durchschneidung der Mesenterialnerven beim Hunde.

An einem Hunde, der mit Chloral (nicht Atropin) narkotisiert ist, eröffnet man die Bauchhöhle durch einen Schnitt in die Linea alba und zieht eine Darmschlinge von 30—50 cm Länge mit dem zugehörigen Mesenterium hervor. Unter das eine Blatt desselben wird eine stiletförmige, am stumpfen Ende etwas umgebogene, an der konkaven Seite hohle Sonde in der Richtung der Gefäße, vorzugsweise über einer Vene eingeführt. Das auf der Sonde emporgehobene Blatt des Mesenteriums wird in der Länge von 1 cm mit der Schere durchschnitten.

Der auf der Vene gelegene Nerv wird auf die Sonde genommen und durchschnitten, sowie die ganze Adventitia zerrissen. Darauf wird in ganz derselben Weise auch die Arterie isoliert und die in ihrer Nähe befindlichen Nerven durchschnitten.

Wenn die Gefäße solcherart von den sie begleitenden Nerven isoliert sind, werden sie emporgehoben und alles andere en masse durchschnitten (Hanau).

Einfacher ist es, die Gefäße unter Anwendung eines Finders (vgl. Fig. 14, S. 12) von dem umgebenden Gewebe zu isolieren und letzteres dann zu durchschneiden.

Es tritt nun eine profuse Sekretion von Darmsaft auf; das Sekret kann dadurch gesammelt werden, daß man die betreffende Schlinge durch zwei Ligaturen von dem übrigen Darm isoliert, und in das eine Ende derselben einen durchlöcherten Schlauch, durch welchen der Darmsaft herausfließen kann, einführt. Dabei hängt man das Tier in dem oben Seite 160 abgebildeten Gestelle auf.

II. Die Wirkungen der Verdauungssäfte.

Unter den Eigenschaften der Verdauungsflüssigkeiten bieten ihre Wirkungen auf die einzelnen Nahrungsstoffe das größte Interesse dar, und allein von diesem Gesichtspunkte aus können sie hier behandelt werden. Und auch in bezug auf diese Wirkungen werde ich nur das Allerwichtigste besprechen, da die eingehende Untersuchung der hieran sich schließenden Fragen in die reine physiologische Chemie gehört.

Die meisten Versuche über die Einwirkung der Verdauungsflüssigkeiten auf die entsprechenden Nahrungsstoffe sind etwa bei Körpertemperatur auszuführen.

Zur Erhaltung der Körpertemperatur, d. h. einer Temperatur von 37—38 ° C, benutzt man regulierbare Thermostaten der verschiedensten Art, welche hier nicht näher beschrieben werden können.

A. Stärkespaltende Enzyme.

Zum Nachweis des stärkespaltenden Enzyms läßt man die Verdauungsflüssigkeit auf Stärkekleister einwirken und untersucht nach einigen Stunden auf die Gegenwart von Zucker, wobei die gewöhnlichen Methoden zum Nachweis von Zucker benutzt werden.

Zur quantitativen Bestimmung der diastatischen Wirkung ist folgende Methode von Glinski und Walther wohl die einfachste, wenn auch lange nicht die genaueste. Man füllt kleine Glasröhren von etwa 1—2 mm Diameter und 2—3 cm Länge mit gefärbtem Stärkekleister und mißt die Länge der nach einer gewissen Zeit aufgelösten Säule (über diese Methode vgl. unten bei der Methode von Mett).

B. Eiweißspaltende Enzyme.

Zum Nachweis eines eiweißspaltenden Enzyms in einer Flüssigkeit bringt man in dieselbe eine Fibrinflocke, die man bei saurer Lösung mit Karmin, bei nichtsaurer Lösung mit Spritblau-bläulich gefärbt hat. Unter der Einwirkung des Enzyms löst sich das Fibrin; der anhaftende Farbstoff wird also frei und die Lösung innerhalb einer bestimmten Zeit um so stärker gefärbt, je mehr vom Fibrin verdaut worden ist, d. h. je reicher die Flüssigkeit an Enzym gewesen ist.

Hierdurch wird es auch möglich, diese Methode als quantitative Methode zu benutzen (Grützner). Zu diesem Zweck wird das Fibrin zuerst mit großen Mengen Wasser gewaschen, bis jede Spur vom Blut verschwunden und das Fibrin ganz farblos ist; dann kommt es während 24 bis 48 Stunden in eine ziemlich starke Lösung von ammoniakalischem Karmin. Darauf wieder Waschen mit großen Mengen Wasser, bis das Waschwasser ganz farblos abfließt. Das gefärbte Fibrin wird in Glyzerin aufbewahrt.

Um Lösungen von verschiedener Färbekraft untereinander zu vergleichen, benutzt man Reagenzgläschen oder besser parallelipipedische Glaströge von 6 × 3.5 × 1 ccm. Jeder Trog wird nur zu etwa $^{9}/_{10}$ seiner Höhe gefüllt.

Um die Lösungen bequem schütteln zu können, werden die Tröge nebeneinander in ein Gestell plaziert und mittels eines gemeinsamen Deckels geschlossen. Der Deckel ist mit Gummipackung versehen und wird mittels Gummischläuche gegen die Tröge gedrückt.

Wenn es sich nun um das eiweißlösende Enzym im Magensaft handelt, wird die zu untersuchende Flüssigkeit mit 0.2 prozentiger Salzsäure auf den gewünschten HCl-Gehalt verdünnt und in jeden Trog 18 ccm davon gegossen. In diese Flüssigkeit werden 2 ccm gequollenen, fein zerhackten karmingefärbten Fibrins gelegt. Dieses muß vorher durch Waschen vom Glyzerin befreit und dann mit 0.2 prozentiger Salzsäure so lange behandelt werden, als es diese Flüssigkeit aufsaugt.

Die Abmessung vom Fibrin findet mittels einer einfachen Glasspritze statt. Diese Spritze ist aus einem Glasrohr, das am einen Ende zu einer nicht zu feinen Spitze ausgezogen ist, hergestellt; durch das andere Ende wird ein Glasstab gestochen, welcher mittels eines Gummischlauches gedickt wird und als Spritzenkolben dient (Langenskiöld).

Die nebeneinander gestellten Tröge werden in passender Entfernung gegen ein dicht hinter ihnen befindliches, weißes Papier betrachtet.

Je nach der vorhandenen Pepsinmenge erfolgt die Lösung des Fibrins und also das Freimachen des Karmins schneller oder langsamer, und wenn die Tröge eine bestimmte Zeitlang bei einer und derselben Temperatur gehalten werden, so kann man also aus der Farbenstärke der Lösung ein Maß der Verdauungskraft des Saftes erhalten. Wenn die Verdünnung des Magensaftes mindestens 1 : 25 ist, können Differenzen von 10 Proz. deutlich wahrgenommen werden.

Wenn man die Tröge mit verschieden starken Karminlösungen, die durch Vergleich mit Pepsinlösungen von bekanntem Gehalt geeicht wurden, füllt, so erhält man eine Skala, nach welcher absolute Zahlen erzielt werden können. Hierbei muß man beobachten, daß die Fibrinmengen möglichst gleichgroß sind, daß die Temperatur konstant ist, daß das Schütteln in bestimmten Zeitintervallen stattfindet, wie daß die Ablesung nach einer bestimmten Zeit erfolgt.

Ferner ist die vielfach benutzte Methode von Mett zu erwähnen. In kleinen Glasröhrchen von 1—2 mm Durchmesser wird Hühnereiweiß aufgesogen und dann in heißem Wasser von 95° C. zur Gerinnung gebracht. Von diesen Röhren schneidet man etwa 1 cm lange Stücke ab. Bei der quantitativen Probe auf Eiweiß werden ein oder mehrere von diesen Stücken in die Verdauungsflüssigkeit gebracht und nach bestimmter Zeit, etwa zehn Stunden, wieder herausgenommen. Bei einer eiweißverdauenden Flüssigkeit ist nun ein Teil der kleinen Eiweißsäule an beiden Enden der Röhre von

der Flüssigkeit aufgelöst und digeriert worden. Diese Länge wird mittels eines Meßstabes gemessen.

Die Schwäche dieser Methode liegt darin, daß die Menge verdauten Eiweißes nicht allein davon abhängt, wieviel Enzym in der Verdauungsflüssigkeit vorhanden ist, sondern auch wieviel davon in die Eiweißsäule hineindiffundiert, was natürlich auf das schließliche Resultat einen wesentlichen Einfluß ausüben muß. In der Tat bekommt man auch ganz andere Zahlen, wenn man statt Hühnereiweiß Gelatine anwendet, diese mit der Enzymlösung durchtränkt und dann erst die Gelatine bei niederer Temperatur gerinnen läßt.

Jedenfalls läßt sich die Mettsche Methode zu quantitativen Bestimmungen gut anwenden, wenn man nicht mehr von ihr verlangt, als Angaben über quantitative Unterschiede in der Verdauungskraft verschiedener Flüssigkeiten zu liefern.

Ursprünglich für die Bestimmung von Pepsin im Magensaft ausgearbeitet, hat sich diese Methode auch bei der Bestimmung des Trypsins im Bauchspeichel bewährt.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß der aus einer Pankreasfistel herausfließende Saft, wenn er aufgefangen wird, ohne mit der Darmschleimhaut in Berührung zu kommen, in der Regel ohne Wirkung auf Eiweiß ist. Er wird aber wirksam, wenn man zu der so erhaltenen Flüssigkeit ein paar Tropfen Darmsaft oder wässerigen Extraktes der Darmschleimhaut zugießt.

C. Fettspaltende Enzyme.

Um das fettspaltende Enzym nachzuweisen, hat Stade folgendes Verfahren angegeben. Eine etwa 5prozentige Eigelbemulsion wird der Verdauungsflüssigkeit ausgesetzt. Nach der gewünschten Zeit wird mit Äther, der etwas Alkohol enthält, ausgeschüttelt (75 ccm auf 100), davon 50 ccm abgegossen, mit 75 ccm neutralisiertem Alkohol versetzt und mit $^{n}/_{10}$ Natronlauge gegen Phenolphtalein die freien Fettsäuren bestimmt. Dann wird zur Bestimmung des noch vorhandenen Neutralfettes dasselbe Gemisch mit genau 10 ccm normaler Natronlauge versetzt und zur Verseifung 2 Stunden in einem mit Natronkalkröhrchen versehenen Kölbchen gekocht oder 24 Stunden gut verkorkt in der Kälte stehen gelassen. Schließlich wird zur Absättigung der vorher zugesetzten Lauge genau 10 ccm normaler Salzsäure zugesetzt und nun wieder titriert. Man findet durch diese Titrierung die Menge der durch das Enzym freigemachten Fettsäuren und die Gesamtmenge der Fettsäuren.

D. Labenzym.

Zum Nachweis des Labenzyms gießt man in einige Reagenzgläschen je 10 ccm frischer Kuhmilch, bringt sie in einen Thermostaten bei Körper-

temperatur, gießt in jedes Gläschen etwa 1 ccm des passend verdünnten neutralisierten Magensaftes hinein und bestimmt die Zeit, binnen welcher die Gerinnung der Milch erfolgt. Je konzentrierter der Magensaft ist, um so kürzere Zeit verstreicht bis zum Eintritt der Gerinnung.

Schließlich sei darauf aufmerksam gemacht, daß man bei allen Versuchen über die Einwirkung der Verdauungsflüssigkeiten immer auch eine Kontrollprobe machen soll, indem man in den Thermostaten eine Anzahl Reagenzgläschen mit der zu lösenden Substanz und Wasser, bzw. Salzsäure bei der Untersuchung des Magensaftes, unaktiviertem Pankreassaft bei der Untersuchung der Aktivierung des Pankreassaftes durch Darmsaft, hineinfüllt usw.

III. Die Bewegungen des Verdauungsrohres.

A. Die Mundsaugung.

Die Mundsaugung wird in der Weise untersucht, daß man eine vertikale, mit einer Papierskala versehene Glasröhre von etwa 0,5 cm lichtem Durchmesser und etwa 750 mm Länge in ein Glas von etwa 2—4 cm Diameter mit etwa 40 ccm Quecksilber stellt. Das freie, abgeschmolzene Ende des Rohres wird in den Mund genommen; die Versuchsperson soll nun mit dem Munde das Quecksilber in die Röhre saugen; von Zeit zu Zeit schluckt sie die in der Mundhöhle befindliche Luft und schließt währenddessen die Öffnung der Röhre mit der Zunge. In solcher Weise kann man durch wiederholtes Saugen das Quecksilber bis zu einer sehr erheblichen Höhe ansteigen sehen.

B. Das Schlucken.

Durch einfaches Tasten kann man an sich selber ohne weiteres nachweisen, daß sich die Muskeln des Mundbodens bei jedem Schluck kontrahieren, sowie daß dabei auch der Larynx nach oben und vorn gezogen wird.

Wenn man einen Gummiballon von etwa 7 ccm Inhalt und 1 mm Wanddicke mit Wasser füllt, diesen mit einem elastischen Manometer verbindet und den Ballon in den Mund führt, so gibt das Manometer bei jeder Schluckbewegung einen Ausschlag, welcher der beim Schlucken in der Mundhöhle stattfindenden Drucksteigerung entspricht. Nach Eichung des Manometers kann die Drucksteigerung in Millimeter Hg angegeben werden (Fig. 159).

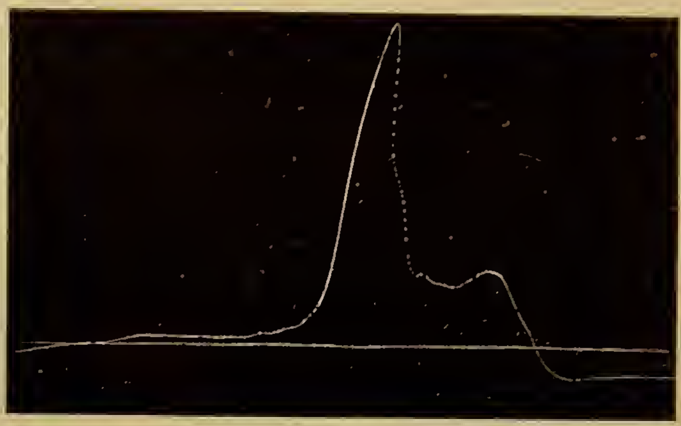
Auch kann man diese Druckvariation, aber nicht in absolutem Maße, dadurch registrieren, daß man den genannten Ballon, mit Luft gefüllt, mit einer Schreibkapsel verbindet (Fig. 160).

Die beim Schlucken stattfindenden Bewegungen des Kehlkopfes können dadurch registriert werden, daß eine Aufnahmekapsel um den Hals in der

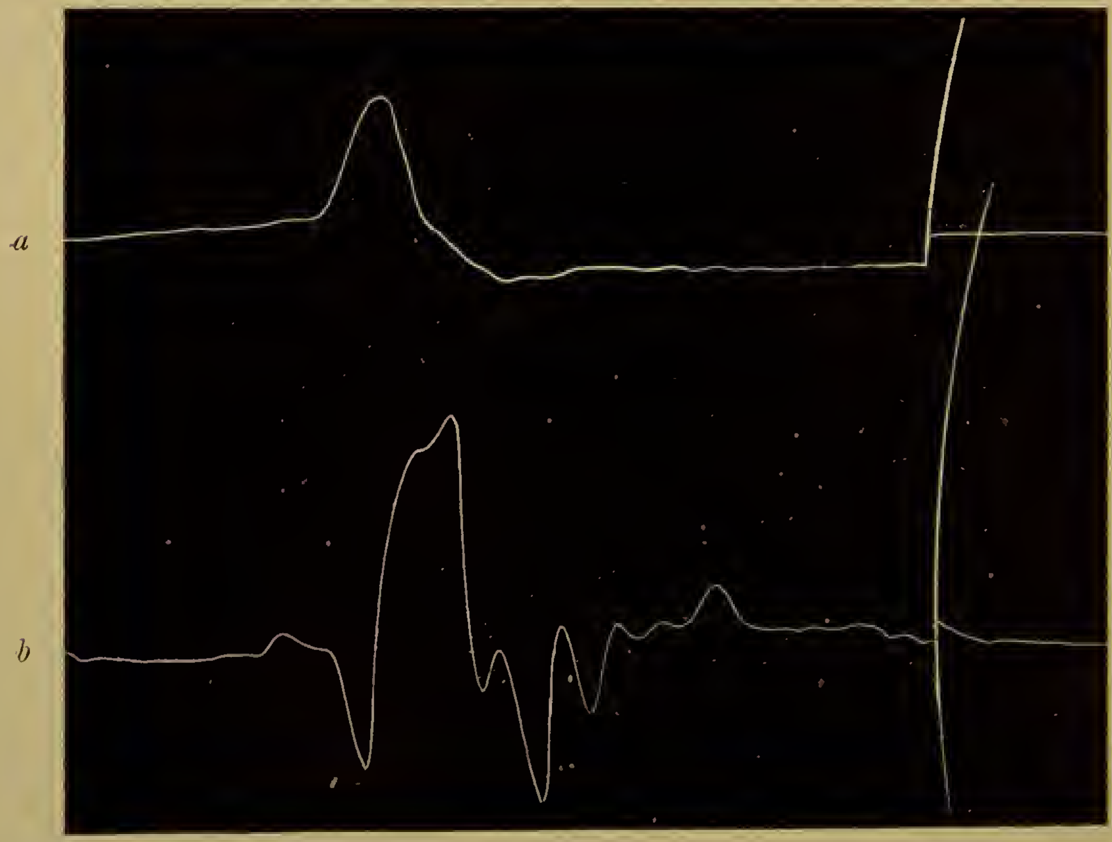
Weise gebunden wird, daß die Membran der Kapsel gegen den Larynx drückt. Die Kapsel wird dann mit einer gewöhnlichen Schreibkapsel verbunden.



Figur 159. Drucksteigerung in der Mundhöhle beim Schlucken, mit dem Frankschen Manometer registriert. 8 mm/Sek.



Figur 160. Drucksteigerung in der Mundhöhle beim Schlucken, mit einer Schreibkapsel registriert. 40 mm/Sek.



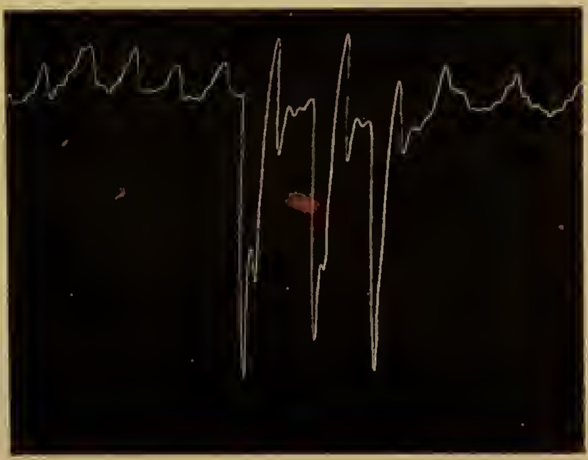
Figur 161. Die Druckveränderungen in der Mundhöhle (*a*) und die Bewegungen des Larynx (*b*) beim Schlucken. 40 mm/Sek.

Man kann endlich die Bewegungen des Larynx und die Druckveränderungen in der Mundhöhle an demselben Zylinder gleichzeitig registrieren (Fig. 161).

Um die Bewegungen des Ösophagus zu studieren, legt man ihn beim Kaninchen in folgender Weise frei. Nach einem Hautschnitt in der Mittellinie dringt man mit stumpfen Instrumenten linksseits median von dem M. sterno-cleidomastoideus und von der Gefäßscheide in die Tiefe, woselbst man ohne Schwierigkeit hinter der Luftröhre den Ösophagus findet. Mittels einer krummen stumpfen Nadel legt man dann um den Ösophagus einen Faden, der als Handgriff dienen soll. Mittels dieses Fadens, der nicht zugezogen wird, zieht man den Ösophagus soweit nach links und vorn, daß seine Bewegungen gut beobachtet werden können.

Zur Auslösung eines Schluckreflexes wird der N. laryngeus sup. gereizt. Man findet diesen Nerven, indem man zuerst den Vagus am Halse in der schon erwähnten Weise freigelegt und ihn dann kopfwärts verfolgt, bis man zum Austritt des Laryngeus sup. gekommen ist. Man isoliert ihn von der Umgebung, bindet ihn möglichst peripher ab und reizt den zentralen Stumpf mittels frequenter Induktionsströme.

Bei jeder Reizung wird eine Schluckbewegung und im Anschluß daran eine Erhebung des Larynx und eine Bewegung des Ösophagus ausgelöst.



Figur 162. Bewegungen des abgetrennten peripheren Stückes des Ösophagus beim Schlucken (*a*, *a*, *a*). Die kleinen Wellen stellen Atembewegungen dar. 8 mm/Sek.

Wenn man nun, nachdem diese Bewegungen beobachtet worden sind, den Ösophagus durchschneidet oder abbindet und aufs neue den Laryngeus superior reizt, so bemerkt man, wenn das Tier nicht sehr stark narkotisiert ist, daß bei dem jetzt erscheinenden Reflex nicht allein das noch mit dem Pharynx zusammenhängende Ende des Ösophagus, sondern der Reihe nach auch das distale, abgetrennte Stück sich kontrahiert. Diese Bewegungen können dadurch registriert werden, daß man den peripheren Ösophagusstumpf mittels einer kleinen Pinzette und eines daran befestigten Fadens mit einem Schreibhebel verbindet (Fig. 162).

Die Wirkung der doppelseitigen Vagotomie auf die Bewegungen des Ösophagus läßt sich am erwachsenen Kaninchen dadurch demonstrieren, daß man das Tier zuerst 24 Stunden lang hungern läßt, dann die Operation ausführt und dem Tier nach Erwachen aus der Narkose gelbe Rüben zu fressen gibt. Wenn es gelingt, das Tier zum Fressen zu bringen, wird es getötet, sobald es Erstickungskrämpfe bekommt; bei der Sektion findet man den Ösophagus bis zum Kehlkopf herauf mit Futter gefüllt, aber keine Spur davon im Magen.

Auch wenn das Tier nicht frißt, stirbt es innerhalb weniger Stunden an der schon durch die Aspiration des Speichels in den Lungen hervorgerufenen Entzündung (Vaguspneumonie).

Zur Beobachtung der Bewegungen der Kardia beim Kaninchen macht man einen Bauchschnitt vom Schwertfortsatz 4—5 cm nach unten, reseziert den knorpeligen Teil desselben und trennt die Ligamenta hepatogastrica vorsichtig durch. Drängt man nun die Leber nach oben, so liegt die Kardia für die direkte Beobachtung frei. Ruft man durch Reizung des N. laryngeus sup. den Schluckreflex hervor, so kann man beobachten, wie sich die Kardia im Anschluß an die Bewegung des Ösophagus bewegt. — Danach öffnet man den Magen und entleert ihn seines Inhaltes, um die Kardia von innen her beobachten zu können. Die Schluckbewegung wird wiederum durch Reizung des N. laryngeus sup. ausgelöst und man hat nun die Gelegenheit, die Bewegungen der Kardia vom Inneren des Magens zu studieren.

Die Kraft, mit welcher die Kardia geschlossen ist, läßt sich in folgender Weise bestimmen. Man macht die Ösophagotomie am Halse, führt eine Röhre in den Ösophagus bis zur Mitte der Brusthöhle und stellt sie in Verbindung mit einer mit Kochsalzlösung gefüllten Bürette, die an ihrem unteren Ende mit einem T-Rohr verbunden ist, in dessen unpaarigen Schenkel eine Spritze oder ein an einem Schlauch befestigter Trichter eingesetzt ist. Man treibt durch die Spritze, bzw. durch Heben des Trichters die Kochsalzlösung hinein; sie strömt nun teils durch die Ösophaguskanüle in den Ösophagus, teils in die Bürette, wo sie bis zu einer gewissen Höhe ansteigt, bis der Druck so hoch geworden ist, daß die Flüssigkeit gerade durch die Kardia hindurchsickert. Dieser Druck wird an einer an der Bürette befestigten Papierskala abgelesen.

Bei der Auslösung einer Schluckbewegung durch Reizung des N. laryngeus superior fällt die Wassersäule wegen der Eröffnung der Kardia plötzlich herab, und bei eröffnetem Magen (s. oben) sieht man, wie das Wasser durch die Kardia hervorstürzt.

C. Magen und Darm.

a) Untersuchung mit Röntgenlicht. Die Bewegungen des Magens und des Darmes kann man am unversehrten Tiere unter Anwendung von Röntgenstrahlen untersuchen. Zu diesem Zwecke läßt man eine weibliche Katze etwa 24 Stunden lang hungern, so daß der Verdauungskanal möglichst leer wird; eventuell wird dem Tiere etwas Rizinusöl beigebracht. Der fein zerriebenen Nahrung wird auf je 25 ccm 5 g Wismutkarbonat und soviel Wasser zugesetzt, daß das Ganze die Konsistenz eines Muses bekommt. Während des ganzen Verlaufes der Verdauung bleibt dann bis ins Rectum die Nahrung mit dem Wismut gut vermischt, so daß die Schattenbilder dem Ort im Darmkanal entsprechen, an welchem sich das Futter jeweils befindet.

Zu dem eigentlichen Versuch wird die Katze auf den Rücken an einem Brett, aus welchem der Bauchgegend entsprechend das Holz ausgesägt und durch ein Stück dicke Leinwand ersetzt ist, gebunden.

Dieses Brett wird auf einen Kasten gestellt, welcher die Röntgenröhre enthält und dessen Seitenwände innen mit Blei oder Röntgenschutzstoff ausgeschlagen sind.

Der Fluoreszenzschirm wird direkt auf den Bauch des Tieres gelegt. Auf ihm sieht man dann ohne weiteres den der Nahrung entsprechenden Schatten und kann also die Bewegungen des Magens und des Darmes beobachten (R. Magnus).

β) Direkte Beobachtung der Bewegungen des Magens und des Darmes. Um am Kaninchen die Magen- und Darmbewegungen direkt beobachten zu können, entfernt man am stark narkotisierten Tiere die Bauchhaut, indem man zuerst einen Schnitt in die Mittellinie legt und die Haut nach beiden Seiten verschiebt. Dann trennt man die Bauchmuskulatur vom Peritoneum, ohne letzteres zu beschädigen; die Därme sind nun durch das dünne Peritoneum hindurch leicht sichtbar.

Um nähere Aufschlüsse über die Darmbewegungen zu erhalten, bringt man das Tier in ein auf Körpertemperatur erwärmtes Bad von Kochsalz- oder Ringer-Lösung oder in die Seite 8 abgebildete Kammer und eröffnet nun die Bauchhöhle durch einen Schnitt in der Linea alba. Es trifft dann nicht selten ein, daß die Darmbewegungen, auch wenn sie vorher ganz deutlich waren, plötzlich aufhören. Man muß auch darauf gefaßt sein, daß sich die Darmbewegungen überhaupt gar nicht zeigen.

Wenn das Tier auf ein Operationsbrett gebunden ist und mit diesem in das Bad versenkt werden soll, braucht man schon für mittelgroße Kaninchen sehr große Wannen und sehr große Flüssigkeitsmengen. Die ganze Anordnung wird aber viel handlicher, wenn man die hinreichend mit Äther narkotisierten Tiere ungefesselt ins Bad bringt; dann genügt schon eine Zinkwanne von 45 × 17 × 17 cm, welche mit 9 l Kochsalzlösung gefüllt wird. Als Kopfhalter kann man dann ein Becherglas benutzen, welches etwa so hoch wie der Flüssigkeitsspiegel ist und mit der Öffnung nach oben im Bade steht. Auf dieser Öffnung ruht der Hinterkopf, bei Kaninchen werden die Ohren in das Becherglas hineingesteckt. Falls das Tier Neigung hat, oben zu schwimmen, so genügen 1 oder 2 Schieberpinzetten, in der Gegend der Schwanzwurzel befestigt, zur Beschwerung. An der kurzen Seitenwand des Kastens ist oberhalb des Flüssigkeitsspiegels ein Loch angebracht, durch welches der Schlauch der künstlichen Atmung zur Trachealkanüle des Tieres geht. Mit Hilfe der künstlichen Atmung wird das Tier in der gewünschten Tiefe der Äthernarkose gehalten (R. Magnus).

Da die Tiere selber Wärme produzieren und die Abgabe von Wärme in warmem Bade außerordentlich erschwert ist, darf die Temperatur desselben nicht höher als etwa 35° C sein; nützlich ist es auch, die Temperatur im Rectum von Zeit zu Zeit zu kontrollieren.

γ) Die Registrierung der Darmbewegungen. Zur Registrierung der Darmbewegungen führt man durch ein kleines Loch einen Gummiballon in den Darm hinein und läßt diesen sich unter einem

Druck von etwa 8—10 cm Wasser mit Luft oder mit Wasser füllen. Der Ballon ist an einem Glasrohr befestigt, welches durch eine Ligatur am Herabrücken verhindert wird. Der durch die Darmbewegungen ausgeübte Druck auf den Ballon wirkt auf ein Wassermanometer ein, dessen Ausschläge dann mittels irgendeiner Schreibkapsel registriert werden können.

Bei freiem Ballon hat man die Gelegenheit zu beobachten, wie er durch die Darmbewegungen allmählich in distaler Richtung verschoben wird.

δ) Die Innervation der Magen- und Darmbewegungen. Die Bewegungen des Magens und des Darmes werden durch die Nn. vagus und splanchnicus reguliert. Versuche über ihre Wirkung werden am mit Äther narkotisierten Tiere in der warmen Kammer gemacht, ohne daß das Tier in ein Kochsalzbad getaucht wird; im Bade müssen nämlich besondere Maßnahmen eingehalten werden, um den Einfluß des durch das Wasser bewirkten Stromschlusses zu vermeiden.

Um die Bewegungen des Darmes im akuten Versuche einigermaßen beherrschen zu können, muß die hemmende Einwirkung der Splanchnici vorerst mittels Durchschneidung dieser Nerven ausgeschlossen werden. Man präpariert daher die Splanchnici in der Brusthöhle (vgl. S. 130), bindet sie ab und armiert den einen mit versenkbaren Elektroden.

Wenn sich nun der Darm bewegt, reizt man den Splanchnicus und weist dadurch dessen hemmende Wirkung auf die Darmbewegung nach.

Bei Reizung des Vagus am Halse gibt man dem Tiere vorher Atropin intravenös (0.001 g pro Kilogramm Körpergewicht), um die Hemmungswirkung des Vagus auf das Herz auszuschließen. Da indessen schon kleine Atropingaben die motorische Wirkung des Vagus auf Magen und Darm beeinträchtigen, ist es besser, den Vagus in der Brusthöhle unterhalb des Abganges der Herzäste zu reizen. Hierbei verfährt man in ganz derselben Weise wie bei der Aufsuchung des N. splanchnicus in der Brusthöhle. Der linke Vagus verläuft im unteren Teil der Brusthöhle als ein dicker Strang vor dem Ösophagus und wird, nachdem er in einer Ligatur gefaßt worden ist, mit versenkbaren Elektroden versehen.

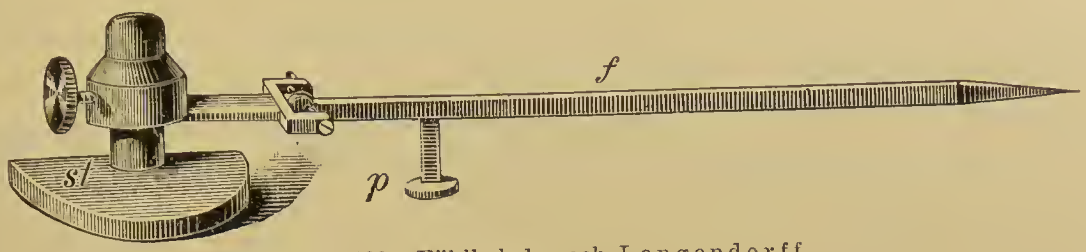
Die motorische Wirkung der Vagusreizung macht sich am entblößten Magen besonders schön geltend.

ε) Überlebender Magen und Darm. Wenn man an einem soeben entbluteten Tier den Magen mit einem Stück vom Ösophagus und vom Duodenum herauspräpariert und ihn in der oben (S. 8) beschriebenen erwärmten, feuchten Kammer mit Hilfe von Häkchen am Omentum minus bzw. an den um die Kardia und den Pylorus gelegten Ligaturen aufhängt, so kann man noch $^1/_2$—$1^1/_2$ Stunden spontane Bewegungen beobachten; wenn sie fehlen, können sie durch Aufblasen vom Ösophagus aus hervorgerufen werden.

Auch der Froschmagen bleibt nach dem Ausschneiden aus dem Körper lange Zeit leistungsfähig; seine Bewegungen können unschwer dadurch registriert werden, daß ein leichter Hebel (Fühlhebel, vgl. Fig. 163)

auf ihn gelegt wird. Wenn sie fehlen, kann die Magenmuskulatur durch elektrische oder mechanische Reizung unschwer erregt werden (Fig. 164).

Die Schichtung des Futters im Magen läßt sich in der Weise zeigen, daß man eine Ratte oder eine weiße Maus 24 Stunden lang hungern läßt



Figur 163. Fühlhebel, nach Langendorff.

und dann der Reihe nach einen mit verschiedenen Farbstoffen (Karmin, Berlinerblau usw.) gleichmäßig gefärbten, fein zerriebenen Käse dem Tiere gibt. Nachdem das letzte Futter verzehrt worden ist, wird das Tier sofort getötet, der Magen durch Ätherspray hart gefroren, dann mit einem scharfen

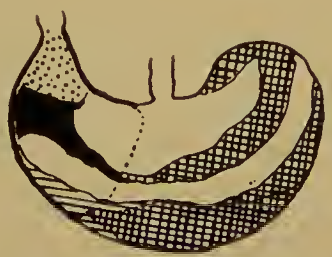


Figur 164. Bewegungen des isolierten Froschmagens. 1.7 mm/Sek.

Messer in der Mitte durchschnitten und jede Hälfte mit ihrer flachen Oberfläche auf eine Glasplatte gelegt, wobei die Schichtung des verschieden gefärbten Futters sehr schön hervortritt (vgl. Fig. 165).

In Ringerscher, mit Sauerstoff gesättigter Flüssigkeit halten sich der ausgeschnittene Magen und Darm eines Säugetieres lange leistungsfähig.

Von einem getöteten Kaninchen wird ein Darmstück mit der Schere herausgeschnitten und sofort in eine Schale mit körperwarmer Ringer-Lösung, durch welche Sauerstoff aus einer Sauerstoffbombe langsam hindurchperlt, übertragen.



Figur 165. Die Schichtung des Futters im Magen, nach Grützner.

Für länger dauernde Versuche ist es zweckmäßig, eine flache Zinkwanne mit Wasser durch einen kleinen Brenner auf 40° C erwärmt zu halten und in diese auf kleine Metallklötzchen zwei mittelgroße Kristallisierschalen mit Ringerscher Flüssigkeit hineinzustellen. In die eine legt man den ganzen Darm für die Dauer des Versuches und entnimmt einzelne Darmschlingen, um sie in der zweiten Schale speziellen Beobachtungen zu unterwerfen.

Hierbei wird von Magnus folgende Zusammensetzung der Ringerschen Flüssigkeit empfohlen:

Natriumbikarbonat	0.03 %
Chlorcalcium	0.024 %
Chlorkalium	0.042 %
Kochsalz	0.9 %

Die Salze müssen in der angegebenen Reihenfolge gelöst werden, weil andernfalls Niederschläge entstehen.

An dem mit Kotballen gefüllten Colon descendens des Kaninchens läßt sich die Darmperistaltik in sauerstoffgesättigter Ringer-Lösung besonders leicht demonstrieren.

Nur bei gut gefütterten Tieren ist der Verdauungsschlauch aktiv und zu lebhafteren Bewegungen befähigt. Bei Hungertieren liegen die Därme im Kochsalzbade völlig flach und ruhig und reagieren bei direkter oder Nervenreizung sehr schwach. Die Tiere sind daher in der Regel vor dem Versuche gut zu füttern.

NEUNTES KAPITEL.

Die Atmung.

I. Die Atembewegungen.

A. Die Lungenelastizität und der intrathorakale Druck.

1. Die Erweiterung der Lungen bei der Erweiterung der Brusthöhle.

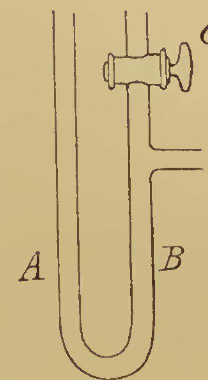
Um nachzuweisen, daß sich die Lungen bei jeder Erweiterung der Brusthöhle erweitern, entfernt man an einem durch Verblutung soeben getöteten Kaninchen die Haut und die großen Muskeln der Brustwand sowie die vordere Portion der Interkostalmuskeln, so daß die Pleurae unversehrt zurückbleiben; eröffnet die Bauchhöhle, bindet einen Faden um die Cardia und entfernt dann den Magen und die Därme, ohne das Zwerchfell zu verletzen. Nun kann man die Lungen sowohl in den Interkostalräumen als auch durch das Zwerchfell hindurchschimmern sehen. Zieht man dann mittels des an die Cardia gebundenen Fadens das Diaphragma nach unten, so folgen die Lungen den Bewegungen desselben.

Am lebenden, mit Chloral oder Äther tief narkotisierten Tiere kann man die Bewegungen der Lungenränder durch die Brustwand hindurch beobachten, wenn man auf der einen Seite des Brustkastens die Brustmuskeln

an ihren Befestigungsstellen etwa bis zum vorderen Ende der knöchernen Rippen löst und eventuell noch die vorderen Partien der Interkostalmuskeln, ohne Verletzung der Pleura, herausschält.

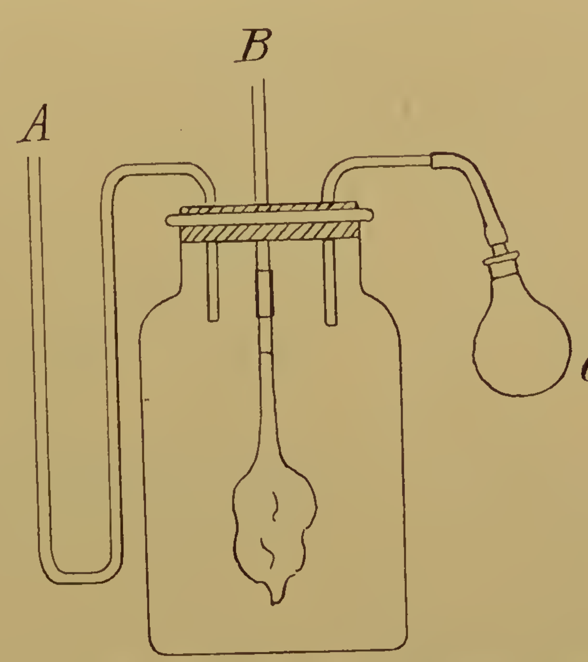
2. Der intrathorakale Druck.

An einem soeben durch Entblutung getöteten Kaninchen bindet man eine gerade Glaskanüle in die Trachea ein und verbindet diese mittels eines Schlauches mit einem U-förmigen, mit Wasser gefüllten Manometer von der in Figur 166 dargestellten Form und mit einem lichten Durchmesser von etwa 2 mm. Der Schlauch zur Trachea wird mit dem Seitenrohr verbunden und Wasser bis nahe dieser Röhre in das Manometer gefüllt; damit es in beiden Schenkeln des Manometers denselben Stand habe, wird der Hahn *C* nach hergestellter Verbindung mit der Trachealkanüle für einen Augenblick geöffnet und dann geschlossen. An einer Papierskala liest man den Stand des Wassers im freien Schenkel des Manometers ab und eröffnet nun vorsichtig, ohne die Lungen zu verletzen, die beiden Pleurahöhlen, indem man nach Entfernung der großen Brustmuskeln die Pleura in einem Rippeninterstitium links und rechts durchschneidet. Die Lungen fallen jetzt zusammen, und gleichzeitig steigt das Wasser im Manometer um einige Millimeter an. Die Höhe, auf welche das Wasser sich erhebt, gibt den Druck an, welcher nötig ist, um bei unversehrtem Brustkasten die Lungen an die innere Brustwand gedrückt zu halten.



Figur 166. Manometer.

Nach Beendigung des Versuches löst man die Verbindung mit dem Manometer, läßt aber die Kanüle in der Trachea zurück; schneidet alle Rippen beiderseits fort, so daß die vordere Brustwand als ein Ganzes entfernt werden kann (vgl. oben S. 94), eröffnet den Perikardialsack und schneidet innerhalb desselben das Herz aus; löst unter Anwendung der Kanüle als Handgriff die Trachea teils stumpf, teils mittels einer Schere bis in die Brusthöhle von den umgebenden Geweben sehr vorsichtig ab, bis man imstande ist, die Lungen mit der Trachea aus dem weit eröffneten Brustkasten herauszuheben.



Figur 167. Apparat für Demonstration der Lungenelastizität.

Das Präparat wird nun in den in Figur 167 abgebildeten Apparat

gebracht. Dieser besteht aus einem Glaszylinder, dessen obere Öffnung mit einem Kautschukpfropfen geschlossen ist. In diesem finden sich drei Löcher; in dem einen ist ein Hg-Manometer *A*, in dem zweiten eine Röhre *B*, mit welcher die Trachealkanüle verbunden wird, und in dem dritten eine rechtwinklig gebogene Röhre luftdicht eingesetzt. Nachdem die Lungen in den Apparat gebracht sind, wird der Ballon *C*, von 50—100 ccm Inhalt, nachdem er vorher möglichst stark entleert worden ist, auf die dritte Röhre befestigt und dann losgelassen. Bei seiner Erweiterung bewirkt er eine Luftverdünnung im Zylinder, dessen Größe vom Manometer angegeben wird, und gleichzeitig entfalten sich die Lungen. Durch rhythmisch erfolgendes Pressen und Loslassen kann man mit dem Ballon entsprechende Veränderungen bei den Lungen hervorrufen.

Wird eine vom Körper ausgeschnittene Lunge in ein Gefäß mit Wasser geworfen, so schwimmt sie auf der Wasseroberfläche, selbst wenn man sie noch so stark zusammendrückt, bzw. in kleine Stückchen zerschneidet. Die in ihr enthaltene Luft (die Minimalluft) läßt sich also nicht durch Druck aus ihr entfernen.

B. Registrierung der Atembewegungen.

Zur Registrierung der Atembewegungen bei Tieren sind unter anderem folgende Methoden benutzt worden.

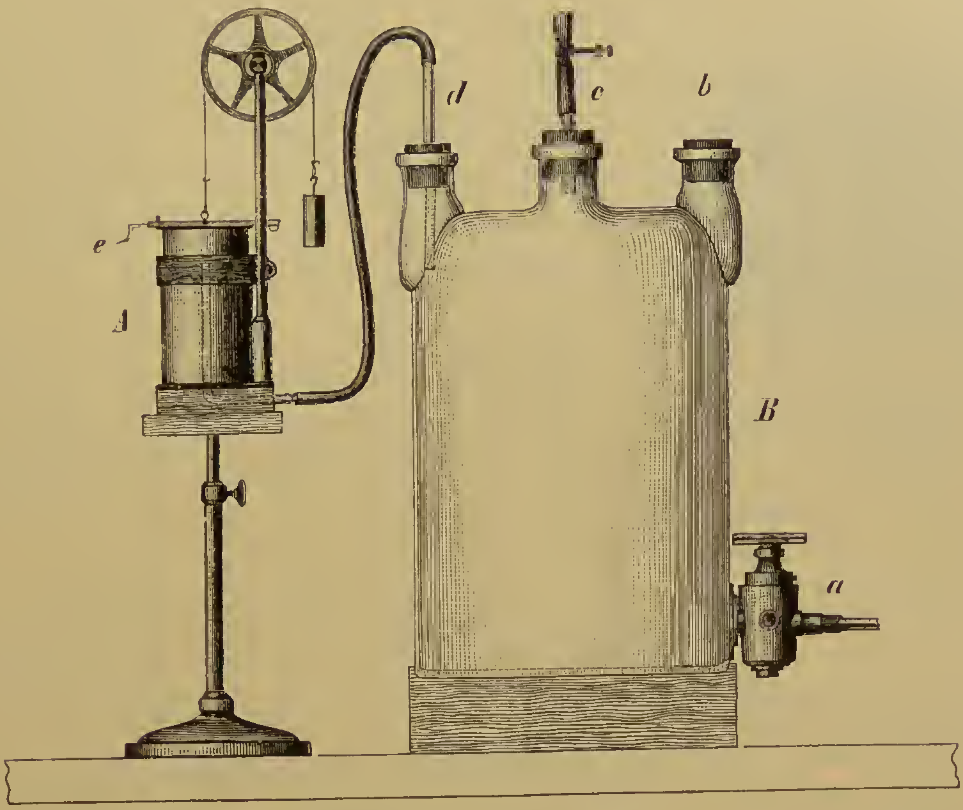
1. Registrierung des respirierten Luftvolumens.

Man macht die Tracheotomie und führt in die Trachea eine Kanüle, die keine seitliche Öffnung hat. Die Kanüle wird andererseits mit dem Tubus *a* einer unten tubulierten, oben mit drei Öffnungen versehenen Flasche *B* verbunden, aus welcher eingeatmet und ausgeatmet wird (Fig. 168). Die Verbindung zwischen Kanüle und Flasche muß möglichst kurz sein, weil sonst der schädliche Raum zu groß wird und Atmungsbeschwerden (Röhrendyspnoe) erscheinen.

Bei der Inspiration wird die Luft in der Flasche verdünnt, bei der Exspiration verdickt. Diese Variationen können durch eine Schreibkapsel oder, wie in der Figur 168, durch ein kleines Spirometer *A* (vgl. S. 188) registriert werden. Wegen der mit der Dehnung der Membran stattfindenden Zunahme des Widerstandes sind im ersten Falle die Ausschläge nicht proportional den Volumenschwankungen.

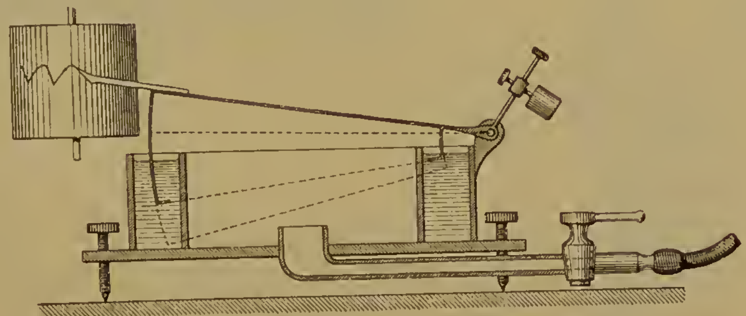
Eine andere Methode, die bei der Atmung in der Flasche auftretenden Volumenschwankungen zu registrieren, bietet der Aëroplethysmograph von Gad dar. Die Flasche steht hier mit einem viereckigen, nach oben durch einen Deckel geschlossenen Raum mit doppelten Wänden, dessen Zwischenräume mit Wasser gefüllt sind, in Verbindung. Der Deckel besteht aus einem umgekehrten Kasten aus dünnen Glimmerblättern, dessen

Seitenwände in die mit Wasser gefüllten Zwischenräume des ersten Kastens hineintauchen. Er ist um eine Achse beweglich, trägt einen Schreibhebel und wird durch das Gegengewicht äquilibriert (Fig. 169).



Figur 168. Atmung durch eine Flasche als Vorlage.

Um mit diesen Apparaten absolute Zahlen zu erhalten, verbindet man sie mit einer leeren (luftgefüllten) Flasche, in welche man durch einen Trichter gemessene Mengen Wasser hineingießt und dabei die Ausschläge des Hebels registriert.



Figur 169. Aëroplethysmograph, nach Gad.

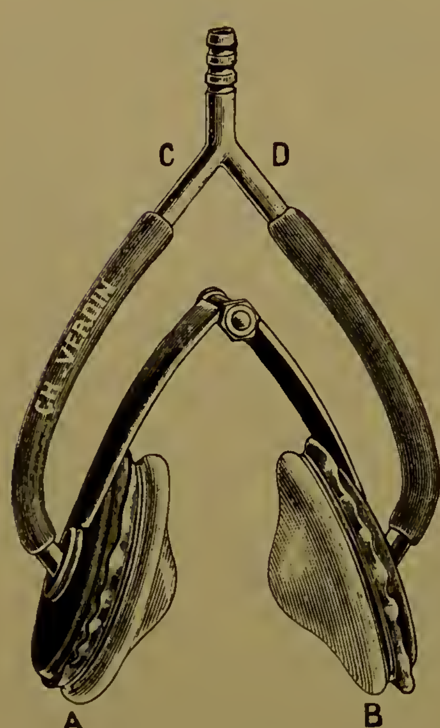
Nachdem in dieser Weise der maximale Ausschlag erreicht worden ist, verbindet man mit dem Apparat eine Saugflasche, läßt von ihr Wasser in gemessenen Mengen herausfließen und registriert wie früher die Ausschläge des Hebels. Beim ersten Teil des Versuches werden die Ausschläge bei der Exspiration, beim zweiten die bei der Inspiration geeicht. Wenn der Apparat richtig geht, müssen alle beide für gleiche Luftmengen gleich groß sein.

Es ist selbstverständlich, daß die Dimensionen der bei diesen Versuchen benutzten Apparate nach der Größe des betreffenden Versuchstieres abgepaßt werden müssen. Für das Kaninchen genügt eine Flasche von 7 l Inhalt.

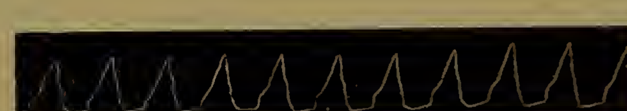
Wenn das Tier eine Zeitlang in die Flasche geatmet hat, wird die Luft daselbst natürlich verdorben; man muß dann die Verbindung der Flasche mit der Trachea und dem Schreibapparat lösen und die Flasche gründlich lüften. Es ist ferner zu empfehlen, die Verbindung der Trachea nur während der Registrierung zu behalten und in den Pausen das Tier direkt aus der Zimmerluft atmen zu lassen, indem man die Verbindung zwischen Flasche und Trachea durch ein T-förmiges Rohr herstellt, den unpaarigen Schenkel mit der Flasche und den einen paarigen Schenkel mit der Trachea verbindet. Der andere paarige Schenkel wird mit einem kurzen Kautschukschlauch versehen und dieser bei stattfindender Registrierung geschlossen.

2. Registrierung der Bewegungen der Brust- und Bauchwand.

Wo es nicht darauf ankommt, die Größe der geatmeten Luftvolumina zu bestimmen, sondern nur die Atembewegungen und die Veränderungen ihrer Größe zu registrieren, kann man dies sehr einfach unter Anwendung einer doppelten Luftkapsel (Fig. 170) durchführen. Die beiden untereinander mittels eines Scharniers verbundenen Kapseln *A* und *B*, bei welcher mittels einer Spiralfeder der Membran eine stärkere Spannung verliehen wird, werden mit dem Scharnier nach oben auf die Brust oder den Bauch des Tieres angelegt und mittels eines um den Rücken gelegten Fadens in ihrer Lage festgehalten; die von ihnen ausgehenden Röhren werden dann mit den paarigen Schenkeln eines Y-Rohres *C*, *D*, und der unpaarige Schenkel des letzteren mit einer Schreibkapsel verbunden (Fig. 171).



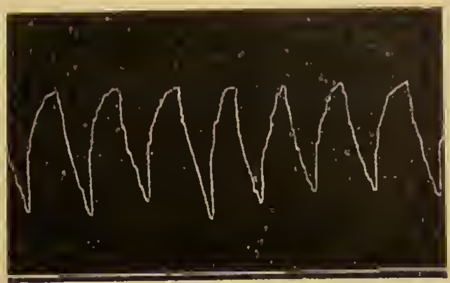
Figur 170. Doppelte Luftkapsel zur Aufnahme der Atembewegungen, nach Verdin.



Figur 171. Kurve der Atembewegungen des Kaninchens mit dem Apparat Figur 170 registriert. Die Inspiration nach oben. 4 mm/Sek.

3. Registrierung der Druckvariationen im Ösophagus.

Da sich die bei der Inspiration und Exspiration in der Brusthöhle auftretenden Druckvariationen auch beim Ösophagus geltend machen, können die Atembewegungen endlich von dem Ösophagus aus registriert werden. Zu diesem Zwecke präpariert man am Versuchstiere den Ösophagus (vgl. S. 175), bindet ihn in der Mitte des Halses ab, legt distal von der Ligatur einen Faden um ihn und eröffnet ihn durch einen Querschnitt an seiner vorderen Wand. Durch diese Öffnung wird eine rechtwinklig gebogene Glasröhre so weit in den Ösophagus hineingeführt, daß ihre Mündung etwa in der Mitte seines Brustteils zu liegen kommt. Durch den schon vorher angelegten Faden wird die Röhre in richtiger Lage festgebunden. Das äußere Ende der Röhre wird mit einer Schreibkapsel verbunden (Fig. 172).



Figur 172. Atembewegungen des Kaninchens vom Ösophagus aus registriert. Die Inspiration nach unten. 4 mm/Sek.

4. Registrierung der Atembewegungen beim Menschen.

Bei allen Versuchen über die Atembewegungen des Menschen muß man sorgfältig darauf achten, daß der Atmungstypus möglichst normal ist. Die nahe Abhängigkeit, in welcher die Atembewegungen zu dem Willen stehen, verursacht nämlich gar zu leicht, daß die Versuchsperson, wenn sie weiß, daß sie beobachtet wird, unwillkürlich den Atmungstypus verändert. Man soll daher immer, wenn nur irgend möglich, die Registrierung der Atembewegungen erst dann beginnen, wenn die durch die Anlegung der betreffenden Apparate bewirkten Störungen zum größten Teil wenigstens vorüber sind. Deshalb empfiehlt es sich auch, die Registrierung auszuführen, ohne daß die Versuchsperson weiß, wann sie beginnt oder endet.

Wo die Registrierung des geatmeten Luftvolumens stattfindet, ist es daher zweckmäßig, in der Leitung einen Dreiwegehahn von genügender Weite einzuschalten. Anfangs findet die Atmung durch den offenen Hahn statt; sobald aber die Atmung wieder regelmäßig geworden ist, wird er umgedreht, so daß die Atmung am Registrierapparat aufgezeichnet wird.

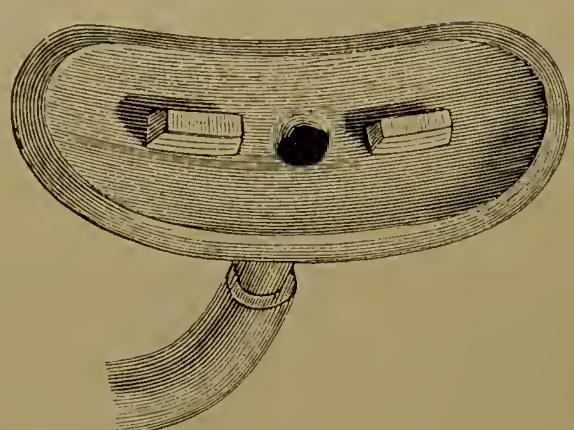
Zur Registrierung der Atembewegungen des Menschen können natürlich mehrere der schon erwähnten Methoden benutzt werden, vorausgesetzt, daß die Apparate von genügend großen Dimensionen sind.

Man kann also die Versuchsperson an einem großen Behälter ein- und ausatmen lassen und die dabei stattfindenden Veränderungen des Luftdruckes bzw. des Luftvolumens durch geeignete Vorrichtungen, z. B. den Aëroplethysmographen, registrieren. Da der ruhende Mensch bei jeder Exspiration etwa 15 ccm Kohlensäure abgibt, werden in 1 Minute bei einer

Respirationsfrequenz von 16 etwa 240 ccm Kohlensäure ausgeatmet. Wenn der Behälter 10 l faßt und zu Beginn des Versuches mit frischer, atmosphärischer Luft von 0.04 Proz. Kohlensäure gefüllt ist, also 4 ccm CO_2 enthält, enthält er nach 1 Minute schon 244 ccm, d. h. 2.4 Proz. Kohlensäure.

An und für sich ist ein derartiger CO_2-Gehalt gar nicht gefährlich; die Atmung wird aber dabei doch nicht unwesentlich verändert, denn jede Erhöhung des CO_2-Gehaltes in der Alveolarluft übt auf die Atembewegungen einen starken Einfluß aus. Daraus folgt, daß diese Methode nur bei verhältnismäßig kurzdauernden Versuchen angewendet werden darf, wenn man Fehler infolge des allmählich zunehmenden CO_2-Gehaltes vermeiden will.

Die Verbindung des Behälters mit dem Versuchsindividuum geschieht mittelst eines zwischen den Lippen und Zahnreihen gehaltenen Mundstückes aus Guttapercha, das bei Erwärmen in warmem Wasser ohne Schwierigkeit nach dem Gebiß des Versuchsindividuums geformt werden kann (vgl. Fig. 173). Beim Versuch sollen die Nasenöffnungen mit einer Klammer geschlossen werden.



Figur 173. Mundstück, nach Denayrouse.



Figur 174. Müllers Ventil.

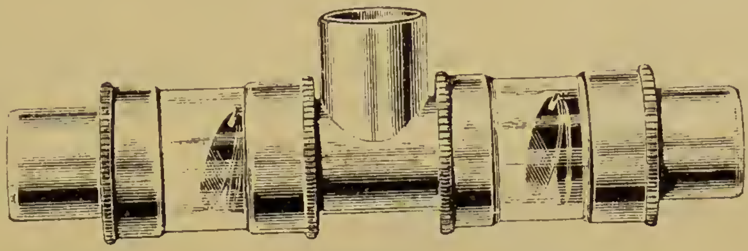
Wenn man die Größe der während einer gewissen Zeit durch die Lungen strömenden Luftmenge ohne Rücksicht auf die Form der Atemzüge bestimmen will, kann man, unter Anwendung des soeben erwähnten Mundstückes, einen leichtgehenden Gaßmesser (Gasuhr) benutzen. Hierbei muß die Exspirationsluft durch passende Ventile von der Inspirationsluft getrennt werden. Man zählt die Frequenz der Atembewegungen und liest an der Gasuhr die Menge der durch sie passierten Luft ab.

Als Ventile können z. B. folgende benutzt werden.

Ein Glasgefäß (Fig. 174) ist mit einem gutschließenden, doppelt durchbohrten Pfropfen verschlossen. In den Bohrungen befinden sich zwei rechtwinklig gebogene Glasröhren, von denen die eine *B* fast bis an den Boden des Gefäßes *A* reicht, die andere *C* aber sofort unterhalb des Pfropfens endet. In dem Gefäß *A* befindet sich Quecksilber oder Wasser. Wie ohne weiteres ersichtlich, gestattet das Ventil die Luftströmung von *B* nach *C*.

nicht aber von C nach B; je nach der Richtung, in welcher es eingeschaltet ist, dient es also als Inspirations- oder Exspirationsventil.

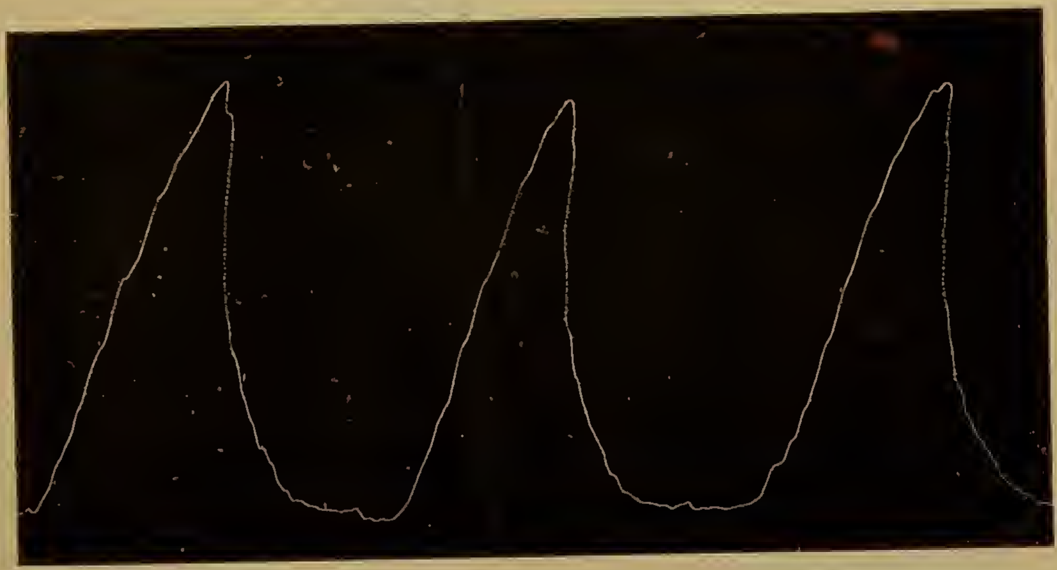
Ein Ventil mit starrem Verschluß ist in Figur 175 abgebildet. Es besteht aus einer metallenen Röhre, an welcher zwei Glasröhren fest-



Figur 175. Ventil mit starrem Verschluß, nach Chauveau.

gesetzt sind. Die Regelung der Luftströmung geschieht durch die sehr leichten Deckel, deren Spiel ohne weiteres aus der Figur ersichtlich ist.

Sehr einfach lassen sich beim Menschen die Atembewegungen dadurch registrieren, daß man um den Brustkasten, bzw. um den Bauch einen 8—10 cm breiten Gurt aus einem unnachgiebigen Stoff umschnallt und zwischen ihm



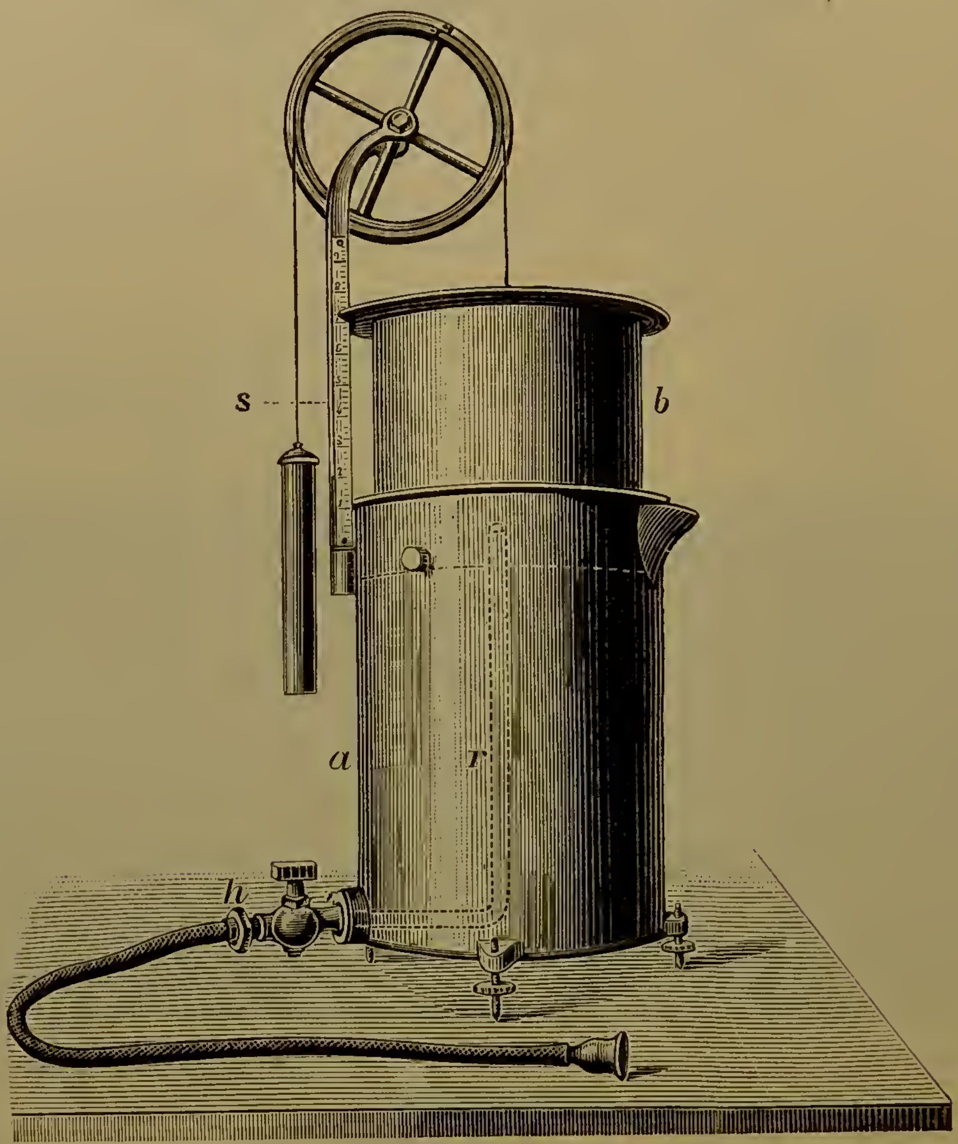
Figur 176. Atembewegungen des Menschen (Bauch) mittels eines Gummiballons geschrieben. Inspiration nach oben.

und der Körperoberfläche einen Gummiballon von etwa 100 ccm Inhalt und 2 mm Wandstärke bringt. Die durch die Atembewegungen hervorgerufenen Veränderungen in diesem Ballon werden mittelst einer Schreibkapsel registriert. Durch Anlegung mehrerer solcher Ballons kann man die Exkursionen der Brust- und Bauchwand in mehreren Niveaus gleichzeitig registrieren (Fig. 176.)

C. Das Spirometer.

Bei vielen Versuchen über die Atembewegungen usw. hat das Spirometer von Hutchinson eine sehr große Bedeutung.

Es besteht (Fig. 177) aus einem mit Wasser bis zu einer bestimmten Höhe gefüllten zylindrischen Gefäß *a*; in der Mitte desselben findet sich eine 1 cm weite Röhre *r*, welche nach oben über das Niveau des Wassers



Figur 177. Spirometer.

ragt und nach unten unter Vermittlung des Hahnes *h* mit dem Schlauch und dem Mundstück verbunden ist. In dem Wasser hängt die mit Luft gefüllte Glocke *b*, welche durch eine um die Rolle laufende Schnur befestigt und durch das Gewicht *s* äquilibriert ist. Der Arm, welcher die Rolle trägt, ist mit einem Maßstab versehen, der in ccm die Verschiebungen der Glocke *b* angibt. Für Menschen muß die Kapazität der Glocke etwa 12000 ccm betragen. Der Diameter der Glocke ist im allgemeinen etwa 20 cm; einem Volumen von 300 ccm entspricht ein Ausschlag von 1 cm.

Da das Gewicht der Glocke immer mehr zunimmt, je mehr sie aus dem Wasser emporsteigt, müssen Vorrichtungen getroffen werden, um dem Einfluß dieses Übelstandes entgegenzuwirken. Zu diesem Zwecke sind mehrere Anordnungen benutzt worden; am einfachsten scheint es, den Faden des Gegengewichtes von einem exzentrischen Rad sich abwickeln zu lassen, so daß der Hebelarm des Gewichtes um so größer wird, je mehr die Glocke emporsteigt.

Mittelst einer an der Glocke befestigten Schreibspitze können die bei der Atmung stattfindenden Volumenveränderungen registriert werden.

Wenn man absolute Angaben über die durch das Spirometer wie durch andere Apparate gemessenen Luftvolumina zu haben wünscht, müssen diese auf eine bestimmte Temperatur und einen bestimmten Barometerdruck korrigiert werden.

Wenn V das gemessene Volumen, b der Barometerstand, t die Temperatur des Spirometers, b_1 die Wasserdampfspannung für die Temperatur t und b_2 die für die Temperatur von 37° C ist, so ist das ausgeatmete Volumen x auf 37° C berechnet:

$$x = V \frac{(1 + 0 \cdot 003665 \times 37)\ (b - b_1)}{(1 + 0 \cdot 003665 \times t)\ \ (b - b_2)}.$$

Die Anwendung des Spirometers bei der Registrierung der Atembewegungen ist schon oben (S. 182) erwähnt worden.

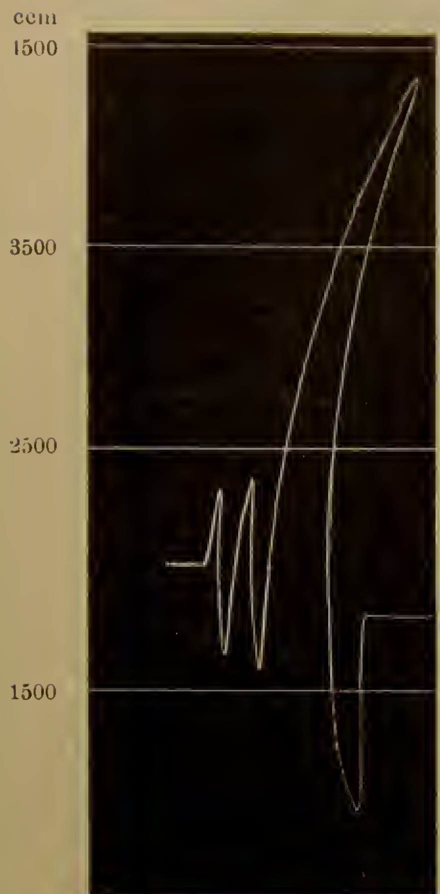
In erster Linie dient aber das Spirometer zur Bestimmung der Vitalkapazität der Lungen, d. h. derjenigen Luftmenge, welche man nach einer möglichst tiefen Einatmung wieder ausatmen kann. Zu diesem Zwecke stellt man die Spirometerglocke auf Null, macht eine möglichst tiefe Einatmung, bringt das Mundstück vor die Zähne und atmet nun so tief wie möglich, unter Anwendung aller akzessorischen Exspirationsmuskeln, in das Spirometer aus. Die dabei gefundene Luftmenge stellt die Vitalkapazität dar.

Der Raum der Spirometerglocke ist so groß, daß man ohne Unannehmlichkeit eine gewisse, wenn auch kurze Zeit an ihr ein- und ausatmen kann. Wenn man dann bei ruhiger Atmung plötzlich eine möglichst tiefe Einatmung ausführt, so stellt die Differenz zwischen dem mittleren Niveau der ruhigen Atmung und dem jetzt erreichten Minimum die Größe der Komplementärluft bzw. die Entfernung der vitalen Mittellage von möglichst stark gefüllten Lungen dar.

Man wiederholt den Versuch und macht dann plötzlich eine möglichst tiefe Ausatmung mit Anwendung aller akzessorischen Exspirationsmuskeln: die Differenz zwischen dem mittleren Niveau der ruhigen Atmung und dem jetzt erreichten Maximum stellt die Größe der Reserveluft, bzw. die Entfernung der vitalen Mittellage von möglichst luftleeren Lungen dar.

Auch kann man den Versuch so ausführen, daß man nach einigen ruhigen Atemzügen möglichst tief inspiriert und dann möglichst tief exspiriert oder umgekehrt (vgl. Fig. 178).

Statt des Mundstückes empfiehlt Bohr zu diesen Versuchen eine die Nase und den Mund umschließende Gesichtsmaske, welche sich leicht herstellen läßt, wenn man den freien Rand eines einigermaßen nach der Gesichtsform zugeschnittenen Blechtrichters mit der in der Zahntechnik angewendeten Stentmasse bekleidet, die bei gewöhnlicher Temperatur hart und glatt ist, bei etwa 40° C aber plastisch wird. Drückt man dann die erwärmte Maske gegen das Gesicht an und läßt sie darauf abkühlen, so erhält man einen Abguß, der sich der individuellen Gesichtsform genau anpaßt und der, wenn er vor dem Anlegen mit Lanolin angefettet wird, ohne im geringsten beschwerlich zu fallen, bei dem Druck, von welchem hier die Rede sein kann, völlig dicht schließt.



Figur 178. Vitale Mittelstellung, Maximum der Inspiration und der Exspiration; Inspiration nach unten.

Ein für Atmung durch den Mund allein sehr zweckmäßiges Mundstück ist in Figur 179 abgebildet.

In dieser Weise untersucht man die Vitalkapazität und die vitale Mittellage beim Stehen und Liegen, während des Liegens von verschiedener Dauer, sowie nach kräftiger Muskelarbeit, unmittelbar und später.

Nach einer möglichst tiefen Ausatmung bleibt außer der Minimalluft (vgl. S. 182) noch die Residualluft zurück; die Bestimmung ihrer Größe erfordert indessen kompliziertere Anordnungen als diejenigen, die im physiologischen Praktikum benutzt werden können.

Um die Existenz der Residualluft am Tiere nachzuweisen, braucht man nur am eben getöteten Tiere die Brust- und die Bauchwand zu komprimieren und während der Kompression jederseits einen Interkostalraum zu eröffnen: man sieht dann, wie die Lungen zusammenfallen und im zusammengefallenen Zustande einen viel kleineren Raum als die durch die Kompression im höchsten Grade verengte Brusthöhle einnehmen.



Figur 179. Mundstück, nach Verdin.

D. Versuche über die einzelnen Atmungsmuskeln.

1. Das Zwerchfell.

Die respiratorischen Bewegungen des Zwerchfells können am durch Chloral tief narkotisierten Tiere von der Bauchhöhle aus beobachtet werden, wenn man nach Hautschnitt in der Mittellinie die vordere Bauchwand in der Linea alba durchtrennt und die Eingeweide im oberen Teil des Bauches (Magen, Leber) sanft distalwärts verschiebt, so daß die untere Fläche des Zwerchfells offen liegt.

Um die Bewegungen des Zwerchfells von oben her zu beobachten, muß die Brusthöhle am tief narkotisierten, aber nicht kurarisierten Tiere in der früher (S. 93) erwähnten Weise weit eröffnet und die künstliche Atmung unterhalten werden. Bei Unterbrechung derselben beginnt das Tier bald selbständig zu atmen, und man sieht dabei, wie sich das Zwerchfell bei jeder Inspirationsbewegung der Rippenstümpfe senkt und abplattet.

2. Die Interkostalmuskeln.

Um die Rippenatmung an und für sich zu beobachten, lähmt man das Diaphragma durch Durchschneidung der Nn. phrenici. Die Präparation dieser Nerven am Halse findet in folgender Weise statt.

Nach Hautschnitt in der Mittellinie des Halses vom oberen Rande des Sternum aufwärts sucht man den lateralen Rand der Insertionen des Sternocleidomastoideus auf und legt den oberen hinteren Rand der 1. Rippe frei. In dem Winkel zwischen der V. jugularis ext. und der V. subclavia kommt der Nerv zum Vorschein.

Nach der beiderseitigen Durchschneidung der Phrenici beobachtet man den jetzt auftretenden Atmungstypus, der sich ja sehr wesentlich von der vor der Durchschneidung stattgefundenen, wesentlich diaphragmatischen Atmung unterscheidet.

Durch Reizung des peripheren Stumpfes des Phrenicus kann man Bewegungen des Zwerchfells wieder hervorrufen.

Die Wirkung der Interkostalmuskeln läßt sich in folgender Weise an einem durch Kurarevergiftung gelähmten Kaninchen, bzw., wenn man rasch zuwegegeht, an einem soeben durch Verblutung getöteten Kaninchen studieren. Man entfernt alle äußeren Muskeln der Brustwand, so daß die Interkostalräume freiliegen. Bei der elektrischen Reizung der äußeren Interkostalmuskeln heben sich die Rippen; desgleichen wenn der Reiz den zwischen den Rippenknorpeln liegenden Teil der inneren Interkostalmuskeln trifft.

Nach Eröffnung der Brusthöhle durch Schnitte beiderseits an der Grenze zwischen dem knöchernen und knorpeligen Teil der Rippen wird

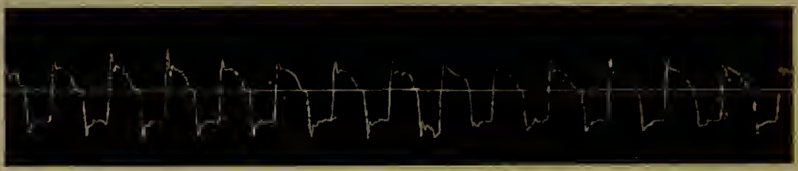
die Hauptportion der inneren Interkostalmuskeln gereizt; dabei werden die Rippen nach unten gezogen. Durch wechselweise Reizung der äußeren und inneren Interkostalmuskeln kann man das Spiel der Rippenheber und -senker sehr deutlich verfolgen.

3. Akzessorische Atembewegungen.

Endlich kann man am Kaninchen die respiratorischen Bewegungen der Stimmbänder von oben her beobachten, indem man die den Larynx bedeckenden Muskeln durchschneidet, den Larynx vom Zungenbein abtrennt und so wendet, daß seine Mündung gut sichtbar wird.

E. Die Druckschwankungen in den Respirationswegen.

Um die bei den verschiedenen Respirationsphasen in den Atmungswegen stattfindenden Druckveränderungen untersuchen zu können, bindet man in die Trachea des Kaninchens eine T-Kanüle aus dünnem Messing mit den paarigen Schenkeln in der Richtung der Trachea ein und ver-



Figur 180. Registrierung der Druckschwankungen in der Trachea des Kaninchens. *a*, Die Nulllinie. Inspiration nach unten. 4 mm/Sek.

bindet den unpaarigen Schenkel mit einem Wassermanometer. Wenn die Kanüle genügend weit ist, atmet das Tier vollkommen normal: während jeder Inspirationsbewegung sinkt der Druck im Manometer und steigt bei jeder Exspirationsbewegung.

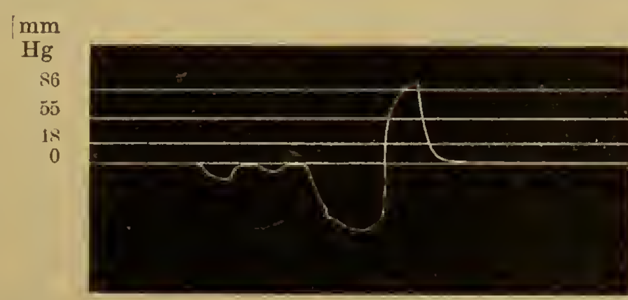
Diese Druckvariationen können auch registriert werden, indem man den unpaarigen Schenkel der Kanüle mit einer Schreibkapsel verbindet (Fig. 180).

Am unversehrten Menschen können entsprechende Versuche an den Nasenöffnungen gemacht werden. Man führt in die eine Nasenöffnung ein T-Rohr genügender Weite, verbindet den unpaarigen Schenkel mit einem Wassermanometer und atmet so normal wie möglich durch die Nase. Die Registrierung der Druckvariationen kann in der schon beschriebenen Weise ausgeführt werden.

Die bei den Atembewegungen des Menschen entwickelte Kraft wird in folgender Weise gemessen.

Man atmet durch ein Mundstück oder eine Gesichtsmaske in ein Quecksilbermanometer. Da die exspirierte Luft also nicht frei entweichen und auch

neue Luft bei der Inspiration nicht in die Lunge eintreten kann, machen sich die Atembewegungen nur durch Druckveränderungen am Manometer geltend. Das Manometer gibt also die bei der Atmung entwickelte Kraft in Millimeter Hg an. Die maximale Kraft bei der Exspiration wird dadurch bestimmt, daß man nach einer möglichst tiefen Inspiration möglichst tief in das Manometer exspiriert, und umgekehrt bestimmt man die maximale Kraft bei der Inspiration, wenn man nach vorgängiger, tiefster Exspiration aus dem Manometer möglichst tief einatmet. Die Druckvariationen bei der gewöhnlichen ruhigen Atmung werden ersichtlich, wenn man am Manometer einige Atemzüge ausführt.



Figur 181. Maximale Druckvariationen bei der Atmung des Menschen, mittels Franks Hebelmanometer registriert. Inspiration nach unten.

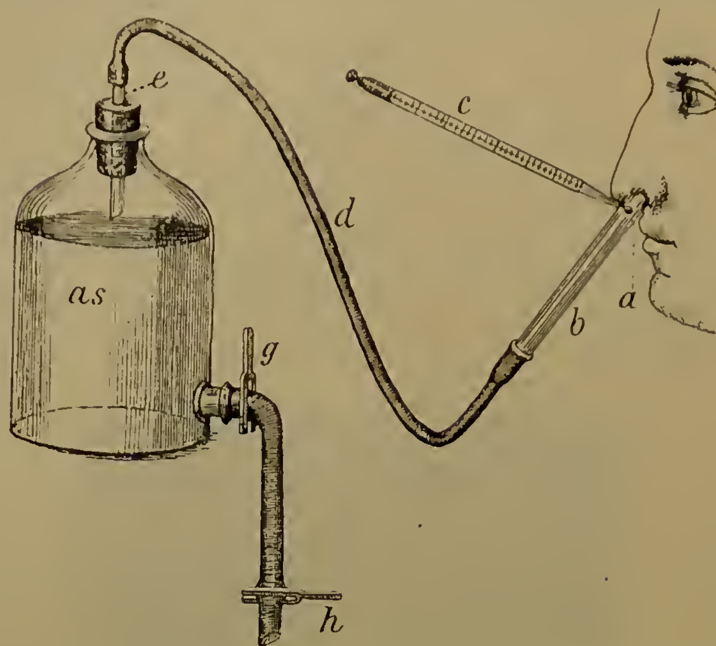
Wegen der Trägheit des Quecksilbers eignet sich zu diesen Versuchen wie übrigens auch zu den Versuchen über den maximalen und minimalen Druck ein elastisches Manometer besser als ein Quecksilbermanometer. (Vgl. Fig. 181.)

Um bei der Bestimmung der Kraftentwicklung bei der Inspiration nicht durch die Mundsaugung getäuscht zu werden, ist es zweckmäßig, dabei die Glottis zu schließen und die Inspiration so lange fortzusetzen, als noch ein Geräusch in dem Larynx entsteht; dann ist man natürlich vollständig sicher davor, daß keine Mundsaugung stattgefunden hat.

F. Die Schutzvorrichtungen für die Lungen.

Unter diesen werde ich hier nur die Erwärmung der Luft während ihrer Passage durch den Nasenrachenraum erwähnen, weil sie sich in einem einfachen Experiment nachweisen läßt. In die eine Nasenöffnung wird der eine paarige Schenkel (Fig. 182) *a* eines T-Rohres von etwa 11 bis 12 mm Durchmesser luftdicht eingepaßt. Der andere paarige Schenkel *b* steht mittels des Schlauches *d* mit der 5 l fassenden Aspirationsflasche *as* in Verbindung. In den unpaarigen Schenkel des T-Rohres, möglichst nahe dem in die Nasenöffnung eingeführten paarigen Schenkel, wird endlich ein in 0.1° C geteiltes Thermometer *c* luftdicht eingeführt. Wenn man nun das Wasser aus der Flasche herausfließen läßt, und zwar so schnell, daß sie sich in 30 Sekunden entleert, so wird Luft in entsprechender Menge durch die nicht-geschlossene Nasenöffnung hinein-

gesaugt und passiert dann durch den Rachen und die zweite Nasenöffnung zur Flasche. Dabei steigt das Thermometer bei gewöhnlicher



Figur 182. Apparat zum Nachweis der Erwärmung der Luft in der Nasen-Rachenhöhle, nach Kayser.

Zimmertemperatur um mehr als 10° C an, also eine entsprechende Erwärmung der Luft im Nasenrachenraum anzeigend.

II. Die Innervation der Atembewegungen.

A. Das Atmungszentrum.

Die oben mitgeteilten Erfahrungen über Narkose durch Exstirpation des Großhirns ergeben, daß dieser Teil des Gehirns für die normale Atmung nicht notwendig ist (vgl. S. 19).

Man kann aber noch weiter gehen und zeigen, daß die Atembewegungen auch nach einem Schnitt gerade an der vorderen Grenze des Kopfmarkes ungestört fortgehen können.

Das in tiefe Narkose (Äther) versetzte Kaninchen wird in die Bauchlage gebracht und der Kopf so stark wie möglich vornüber gebeugt. Hautschnitt in der Mittellinie von der Scheitelgegend bis zur Mitte des Nackens. Ablösung der Muskeln vom Hinterhauptknochen und den oberen Halswirbeln unter Anwendung des Thermokauters. Das Ligamentum occipito-atlantoideum liegt jetzt frei und wird mittels einer feinen und scharfen Schere vorsichtig durchschnitten. Mittels einer feinen Zange entfernt man vom Hinterhauptknochen den distalen Teil in solchem Umfange, daß man das ganze Operationsfeld vollständig überblicken kann. Jede Blutung aus der Diploe wird durch Klebewachs sofort gestillt.

Nun hebt man das Kleinhirn mit einem kleinen Spatel auf, führt ein feines Messer an der vorderen Grenze des Kopfmarks in die Tiefe und

schneidet solcherart das Kopfmark vom übrigen Teil des Gehirns ab. Das ausgetretene Blut muß mit feinen Tupfern aus Baumwolle oder Filtrierpapier sorgfältigst entfernt werden.

Auch bei dieser Operation ist es, um dem Eindringen von Luft in den Venen vorzubeugen, zweckmäßig, die künstliche Atmung zu unterhalten (vgl. oben S. 20).

Bei gut gelungener Operation atmet das Tier nach Durchschneidung des Hirnstammes ganz normal weiter; wird aber das Kopfmark zerstört oder durch einen Schnitt an der Grenze des Rückenmarks von den Ursprungskernen der Atmungsnerven getrennt, so hört die Atmung sofort auf.

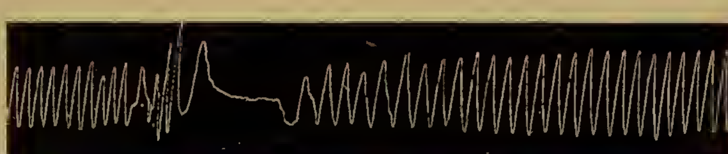
B. Die Atmungsreflexe.

Die wichtigsten bei der Regulation der Atmung beteiligten zentripetalen Nerven sind der Trigeminus, der Laryngeus superior und der Lungenvagus.

1. Trigeminus.

Der Einfluß des Trigeminus auf die Atmung läßt sich am schönsten an einer Gans nachweisen: wenn man Wasser in schnell aufeinander-

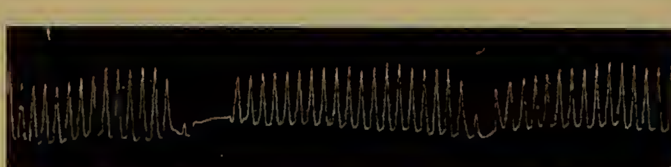
a



Figur 183. Kaninchen; Atmung aus einer Flasche; Inspiration nach unten. Bei *a* wird Wasser auf das Gesicht gegossen. 0.4 mm/Sek.

folgenden Tropfen auf den Schnabel fallen läßt, so kann die Atmung Minutenlang stillstehen (Fredericq).

Am narkotisierten Kaninchen kann man den entsprechenden Versuch in folgender Weise ausführen. Man macht die Tracheotomie und läßt das



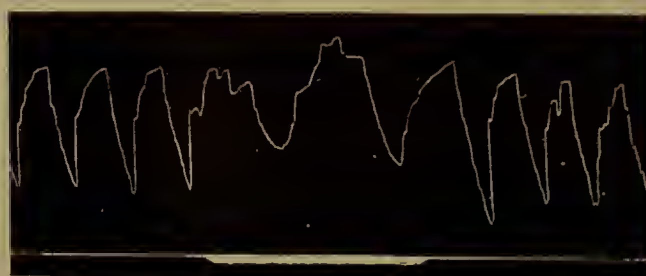
Figur 184. Wirkung des Trigeminus auf die Atmung. Registrierung mittels einer Doppelkapsel auf dem Bauch; Inspiration nach oben. 0.8 mm/Sek.

Tier, wie oben beschrieben (S. 182), aus einer Flasche atmen, wobei die Respiration mittels einer Schreibkapsel registriert wird. Dann gießt man plötzlich Wasser über das Gesicht (*a* Fig. 183): die unmittelbare Folge davon ist Stillstand der Atmung.

Andere Trigeminusreflexe auf die Atmung können am narkotisierten Kaninchen durch Reizung der Nasenschleimhaut ausgelöst werden. Man registriert die Atembewegungen mittels der Doppelkapsel und hält ein Stück mit Äther durchtränkter Baumwolle vor die Nase: sofort steht die Atmung eine Zeitlang in Exspiration still (Fig. 184).

2. Laryngeus superior.

Die Präparation des N. laryngeus superior ist schon oben (S. 175) beschrieben worden. Wenn man am narkotisierten Tiere die Atmung in



a *b*

Figur 185. Wirkung des Laryngeus sup. auf die Atmung. Registrierung vom Ösophagus aus. Inspiration nach unten. Zwischen *a* und *b* Reizung des Laryngeus sup.

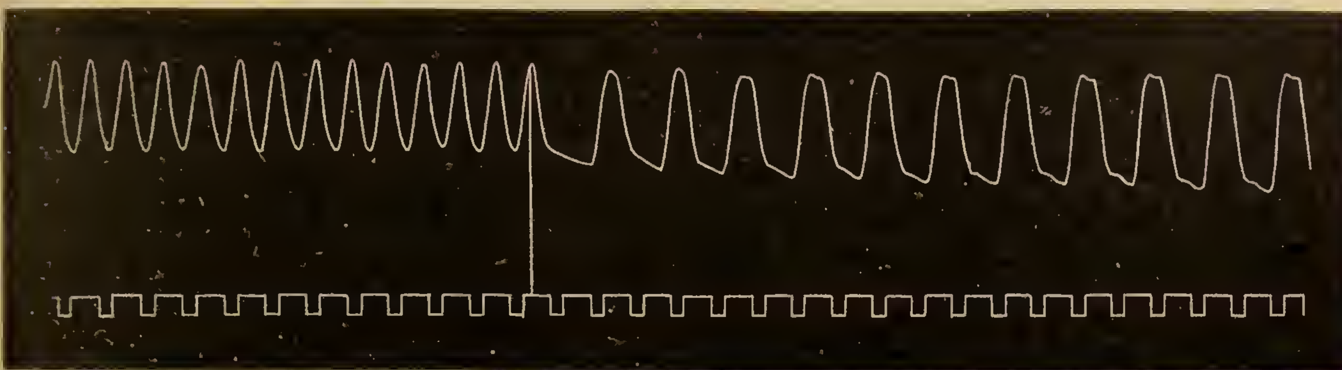
irgendwelcher Weise registriert und den zentralen Stumpf des genannten Nerven reizt, so erscheint sofort eine kräftige Exspiration (Fig. 185).

3. Vagus.

Die eindeutigsten Aufschlüsse über den Einfluß der Lungenvagi auf die Atembewegungen erhalten wir durch deren reizlose Ausschaltung.

Eine einfache Durchschneidung mit der Schere gibt nicht selten ganz unbefriedigende Resultate, teils weil der Schnitt an und für sich den Nerven reizt und diese Reizung mehr oder weniger lange dauern kann, teils weil der Demarkationsstrom des durchschnittenen Nerven auch als ein Reiz auf denselben wirken kann. Reizlos können diese Nerven indessen durch Abkühlung ausgeschaltet werden (Gad). Man präpariert die beiden Vagi in der schon erwähnten Weise (vgl. S. 126) und legt sie, ohne sie zu verletzen, auf rechtwinklig gebogene, silberne Röhren von $1^1/_2$ — 2 mm lichtem Durchmesser. Diese Röhren sind mit einer Flasche verbunden und tragen an ihren freien Enden Kautschukschläuche, die in ein untergestelltes Glas endigen. Die Flasche wird mit einer frisch angefertigten Lösung von Ammoniumnitrat in einer gleichen Gewichtsmenge Wasser gefüllt; hierdurch sinkt die Temperatur auf — 3 bis — 6° C herab. Sobald die Flüssigkeit durch die silberen Röhren strömt, frieren die darauf liegenden Vagi zu Eis und verlieren dadurch ihr Leitungsvermögen vollständig.

Schon vorher hat man mit der Registrierung der Atembewegungen begonnen und hat also Gelegenheit, die durch die Ausschaltung der Vagi hervorgerufenen Veränderungen des Atmungstypus zu beobachten (Fig. 186). Nach einiger Zeit stellt man den Strom der Ammoniumnitratlösung ab; die Nerven tauen bald auf, und der frühere Atmungstypus erscheint wieder.

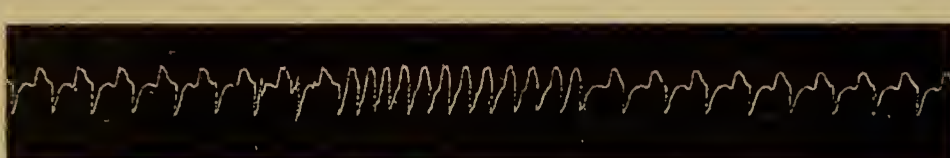


a

Figur 186. Die Wirkung der Ausschaltung der Vagi auf die Atembewegungen. Atmung aus einer Flasche. Bei *a* werden die Vagi durchfroren. Nach Lindhagen.

Nach Ende des Versuchs wird die Ammoniumnitratlösung abgedunstet und das Salz zum neuen Gebrauch aufbewahrt.

Den Einfluß der künstlichen Reizung des Vagus mittels Induktionsströmen untersucht man am besten an durchfrorenen Nerven, indem man versenkbare Elektroden zentral von der durchfrorenen Stelle anlegt. Die Resultate sind nicht genau konstant, lassen indessen jedenfalls eine Beschleunigung der Atmung mit Verkürzung der Inspiration erkennen.



a *b* *c* *d*

Figur 187. Kaninchen; Atmungsregistrierung durch eine Doppelkapsel auf dem Bauch. Künstliche Atmung. Inspiration nach oben. Zwischen *a* und *b* sowie zwischen *c* und *d* künstliche Atmung. Man sieht, wie nach Schluß des Einblasens, wenn die Lungen zu einem gewissen Grade zusammengefallen sind, eine neue Erhebung beginnt, welche die durch die künstliche Atmung reflektorisch ausgelöste Kontraktion des Zwerchfells darstellt. Zwischen *b* und *c* ist die künstliche Atmung aufgehoben; die spontane Atmung ist hier viel frequenter.

Um die Einwirkung der natürlichen, durch die Entfaltung und das Zusammenfallen der Lungen hervorgerufenen Reizung der Lungenvagi nachzuweisen, eröffnet man den Brustkasten (vgl. S. 93) und unterhält die künstliche Atmung in ziemlich langsamem Rhythmus. Dabei kann man sowohl am Zwerchfell wie an den durchschnittenen Rippen beobachten, daß diese bei jeder Aufblasung der Lungen in die Exspirationsstellung übergehen, während sie bei dem Zusammenfallen der Lungen inspiratorische Bewegungen ausführen (Hering und Breuer; Fig. 187).

C. Die Reizung des Atmungszentrums.

Wenn man an einem mit Äther oder Chloral narkotisierten Kaninchen mit unversehrten Vagi die Tracheotomie macht und eine Zeitlang in sehr schnellem Rhythmus die künstliche Atmung ausführt, so zeigt sich nach Aufhören derselben, daß die Atembewegungen erst nach einiger Zeit wieder beginnen, wie die graphische Aufzeichnung der Atembewegungen mittels der Doppelkapsel ohne weiteres nachweist. Auch bei durchschnittenen Vagi stellt sich dieser Atmungsstillstand, der als Apnoe bezeichnet wird, ein; er ist aber schwerer zustande zu bringen und dauert kürzere Zeit, als wenn die Vagi noch unversehrt sind.

Die Apnoe läßt sich auch beim Menschen demonstrieren. Wenn man ohne weitere Vorbereitungen versucht, den Atem zu halten, wird schon binnen 20—30 Sekunden der Zwang zur Atmung sehr stark fühlbar; hat man aber vorher durch einige sehr tiefe Atemzüge die Lungen gut ventiliert und den Kohlensäuregehalt der Alveolarluft vermindert, so dauert es wesentlich länger, bis sich die Atmungsbeschwerden einstellen. Noch länger dauert die Apnoe, wenn man einige Mal reinen Sauerstoff aus einem damit gefüllten Spirometer einatmet und also den Sauerstoffgehalt der Alveolarluft beträchtlich erhöht. Die Zeitdauer der Apnoe wird mittels der Uhr bestimmt.

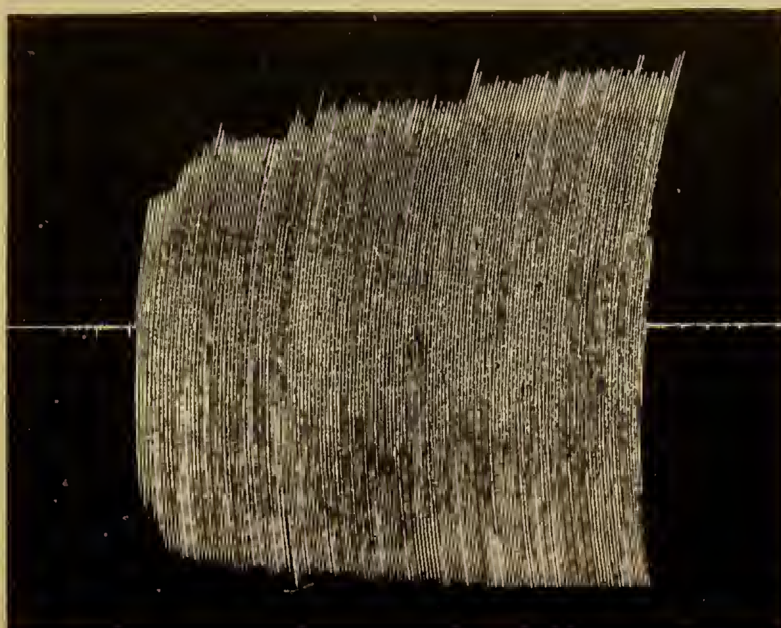
Die Einwirkung, welche ein größerer Gehalt der inspirierten Luft an Kohlensäure auf die Atembewegungen ausübt, läßt sich dadurch demonstrieren, daß man, nach der oben (S. 182) dargestellten Methode, ein Kaninchen aus einer Flasche atmen läßt und die Volumenschwankungen mittels einer Schreibkapsel registriert. Nur muß man, damit die Erscheinungen schneller auftreten sollen, als Vorlage eine ziemlich kleine Flasche (etwa 1 bis $1^1/_2$ l) wählen. Da die Luft in der Flasche nicht erneuert wird, nimmt ihr Kohlensäuregehalt immer mehr zu, und dementsprechend wird die Atmung immer tiefer (Fig. 188).

Bei vollständig aufgehobenem Luftwechsel in den Lungen, z. B. durch Zubinden der Trachea an einem tief narkotisierten Kaninchen, wobei die Bewegungen des Brustkastens mittels der Doppelkapsel registriert werden, wird die Atmung zuerst vertieft und beschleunigt, Krämpfe stellen sich in den Körpermuskeln ein, endlich hören die Atembewegungen auf (Fig. 189). Das Tier ist indessen noch nicht tot, denn nach einigen Sekunden treten neue, etwa 5—10, Atembewegungen auf (terminale Atmung, bei ×).

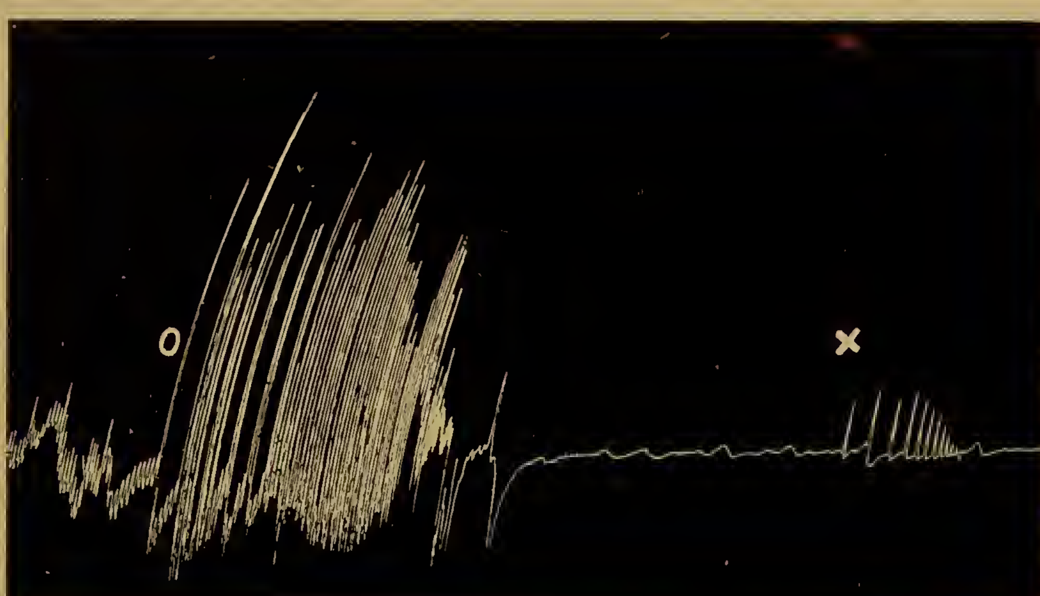
Die gleichen Erscheinungen am Atmungsapparat zeigen sich auch bei dem Tod durch akute Verblutung.

Die Bedeutung des schädlichen Raumes bei der Atmung läßt sich am narkotisierten Kaninchen in der Weise demonstrieren, daß man die Tracheotomie macht und an der Trachealkanüle, die keine seitliche Öffnung haben darf, einen Schlauch von etwa 3 mm lichtem Durchmesser und 120 cm Länge befestigt. Trotz dem freien Zutritt von Luft treten binnen kurzem

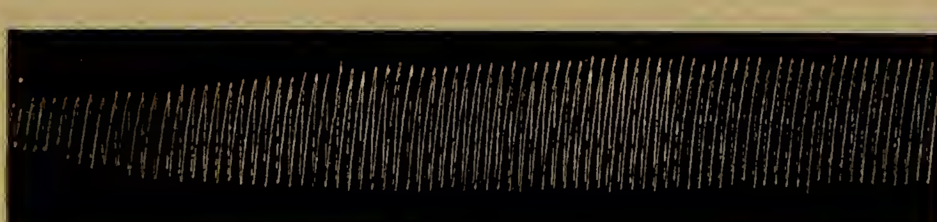
die gleichen Erscheinungen wie bei der Atmung aus einer zu kleinen Flasche (vgl. S. 198) auf (Fig. 190).



Figur 188. Atembewegungen des Kaninchens bei zunehmendem Kohlensäuregehalt in der als Vorlage dienenden Flasche. Inspiration nach unten. 0.4 mm/Sek.



Figur 189. Atembewegungen bei der Erstickung. Registrierung durch eine Doppelkapsel auf der Brust; Inspiration nach oben. 0.4 mm/Sek. Die Trachea wird bei ◯ gebunden. Terminale Atmung von × an.



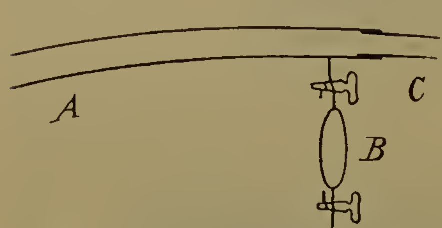
Figur 190. Kaninchen. Röhrendyspnoe. Registrierung der Atmung durch die Flasche. Inspiration nach unten. 0,5 mm/Sek.

Diese Röhrendyspnoe kann man an sich selber nachweisen, wenn man die Nase zuklemmt und das Mundstück (vgl. S. 186) mit einem Messingrohr von etwa 3 cm lichtem Durchmesser und 70 cm Länge verbindet.

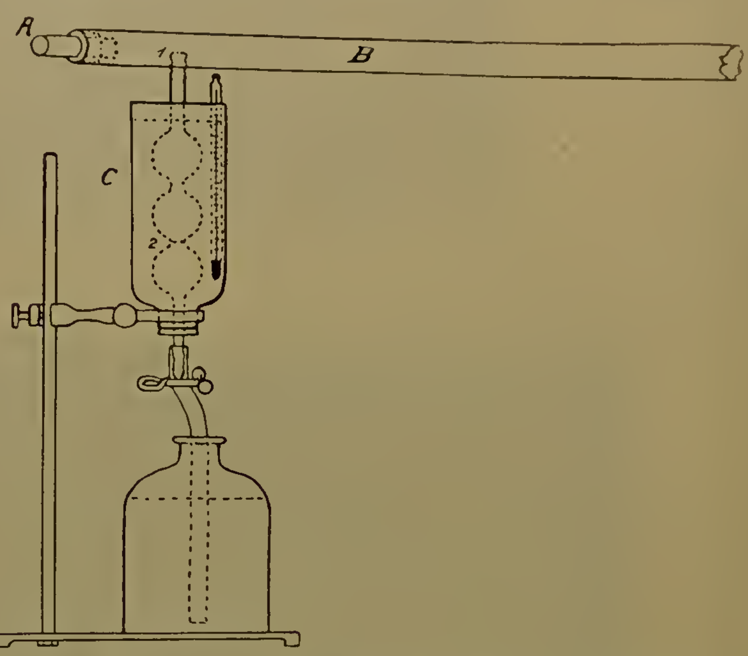
III. Die Zusammensetzung der Alveolarluft.

Um die Alveolarluft zur Analyse zu sammeln, haben Haldane und Priestley folgendes Verfahren empfohlen.

Man atmet durch einen Schlauch (*A*, Fig. 191) von $1^1/_2$—$2^1/_2$ m Länge und etwa $1^1/_2$—2 cm lichtem Durchmesser, der mit einem zylindrischen Mundstück aus Glas von 1—$1^1/_2$ cm Weite (*C*) versehen ist. Ganz nahe am Mundstück wird ein Hg-Behälter (*B*), der mittels eines Schlauches mit einem Hg-Gefäß verbunden ist, angebracht. Bei der Probeentnahme macht die Versuchsperson eine tiefe Ausatmung und schließt sodann das Mundstück mit der Zunge. Der Hahn zum Hg-Behälter *B* wird geöffnet und die



Figur 191. Vorrichtung zur Probeentnahme der Alveolarluft, nach Haldane und Priestley.



Figur 192. Apparat zur Bestimmung des Kohleusäuregehaltes der Alveolarluft, nach Henderson und Russel.

Probe zur Analyse genommen.

Die Analyse der in dieser Weise gesammelten Luft wird nach den allgemeinen Methoden der Gasanalyse, die indessen hier nicht besprochen werden können, ausgeführt.

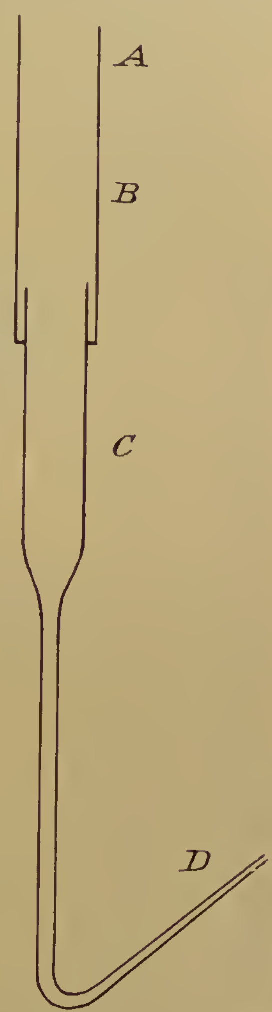
Eine Modifikation des Versuches, bei welchen indessen nur die Kohlensäure bestimmt werden kann, ist von Henderson und Russel angegeben. Ihr Apparat (Fig. 192) besteht aus einem Mundstück *A* aus Glas von 1—$1^1/_2$ cm Durchmesser und 5—8 cm Länge, mit welchem eine Röhre *B* von 1.5—2.5 m Länge verbunden ist. Nahe dem Mundstück ist die Pipette *C* in die Röhre *B* eingepaßt. Die Pipette besteht aus drei miteinander zusammenhängenden Kugeln von insgesamt etwa 150 ccm Inhalt; das Volumen der zwei oberen Kugeln ebenso wie das der dritten bis zu einer Marke an der Einkerbung (2) muß durch Eichen mit Wasser aus einer Bürette bestimmt werden. Mittels eines mit Quetschhahn versehenen Schlauches steht die Pipette mit einer Flasche in Verbindung und ist selber mit einem Wassermantel umgeben.

Beim Versuche wird die Pipette durch Saugen aus der mit $^n/_{40}$ Barythydratlösung gefüllten Flasche bis zu ihrem oberen Rande mit der Barytlösung

gefüllt und mit der Röhre *B* verbunden. Dann macht die Versuchsperson eine möglichst tiefe Exspiration und schließt darnach das Mundstück mit der Zunge. Der Quetschhahn wird jetzt geöffnet und soviel von der Barytlösung herausgelassen, daß ihr oberes Niveau genau mit der Marke bei 2 zusammenfällt. Man hat also jetzt eine Probe, die dem Volumen der beiden oberen Kugeln der Pipette genau entspricht, und diese Probe steht mit der in der dritten Kugel enthaltenen Barytlösung in Verbindung.

Zur Ausgleichung der Temperatur läßt man die Probe 20 Sekunden lang stehen, löst dann die Pipette von der Röhre *B*, schließt die obere Öffnung derselben mit einem Finger und kehrt endlich die Pipette um, so daß die Barytlösung in die beiden oberen Kugeln fließt. Nach zweiminutlichem Schütteln wird die Flüssigkeit in eine kleine trockene Flasche gegossen. Nach vollendeter Sedimentierung des gebildeten Bariumkarbonates werden aus der klaren Lösung 10 ccm zur Titrierung entnommen.

Noch einfacher ist die folgende Versuchsweise, welche indessen die Benutzung einer speziellen Analysenmethode voraussetzt, welche mit ganz geringen Gasmengen völlig befriedigende Resultate ergibt. Hier atmet die Versuchsperson so tief wie möglich durch die in Figur 193 abgebildete, spitzwinklig gebogene und mit einem Kautschukschlauch *A* versehene Röhre *C* aus. Die Spitze der Röhre *D* wird unter Wasser getaucht; man beobachtet die durch das Wasser perlenden Luftbläschen, bis die Luft so viel wie möglich aus den Lungen herausgetrieben worden ist. Dann schließt man den Schlauch mittels eines Quetschhahnes bei *B* und drückt einen Augenblick ganz schwach auf den Schlauch, so daß etwas Luft durch die Spitze *D* entweicht und durch Wasser ersetzt wird. Dieses dient dazu, den Eintritt fremder Luft in die Röhre zu verhindern.

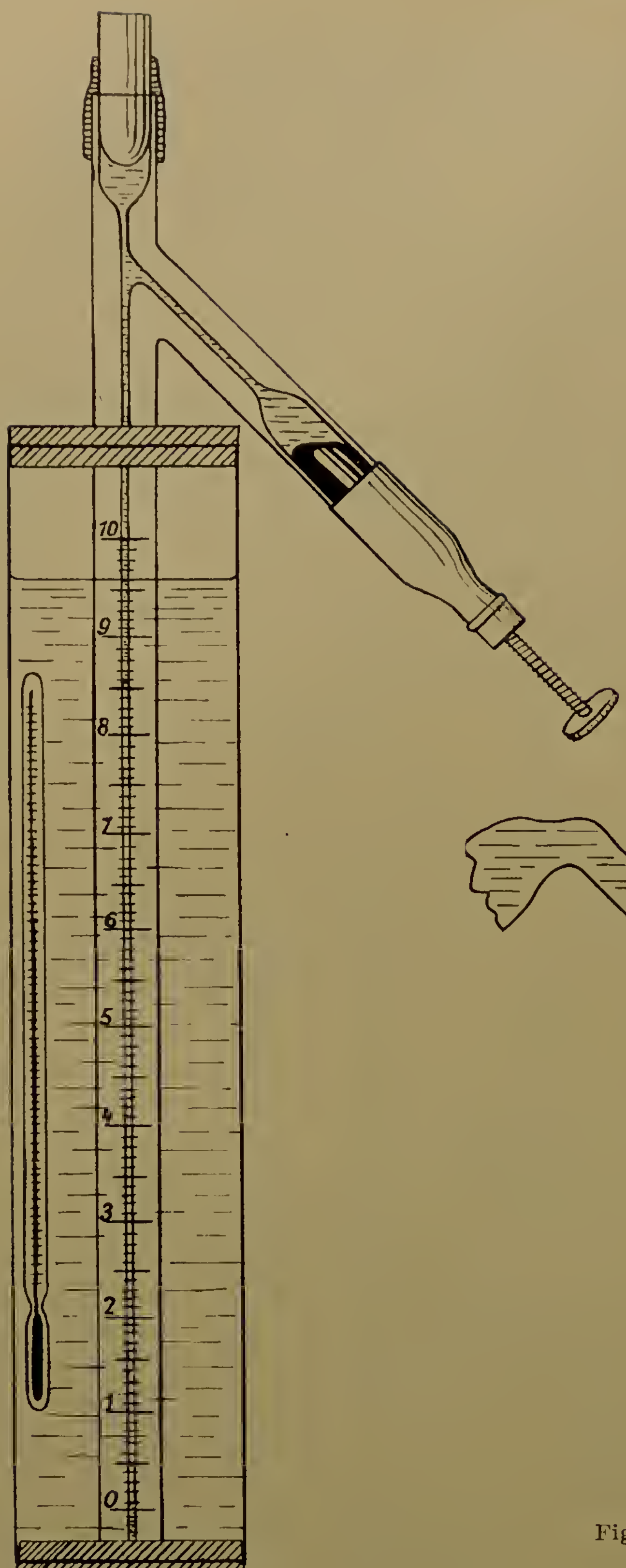


Figur 193. Röhre zur Probeentnahme der Alveolarluft.

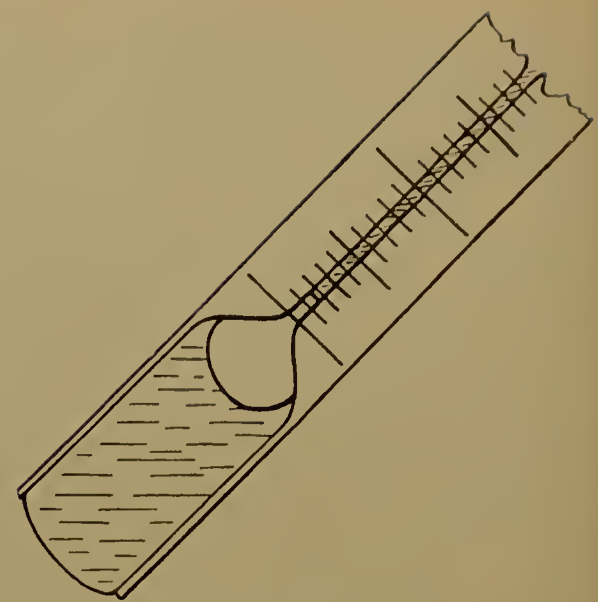
Man nimmt die Röhre aus dem Wasser und bringt durch leichten Druck auf den Schlauch ein Luftbläschen in den Apparat für Mikrogasanalyse von Krogh hinein.

Das Prinzip dieses Apparates besteht darin, von dem zu analysierenden Gas ein ganz kleines Bläschen zur Probe zu entnehmen, die Größe desselben zu messen, dann sukzessive durch Kalilauge und Pyrogallussäure die Kohlensäure bzw. den Sauerstoff zu absorbieren und nach jeder Absorption die Größe des noch vorhandenen Bläschens zu messen. Man erhält also direkt den Gehalt der Luft an Sauerstoff und Kohlensäure.

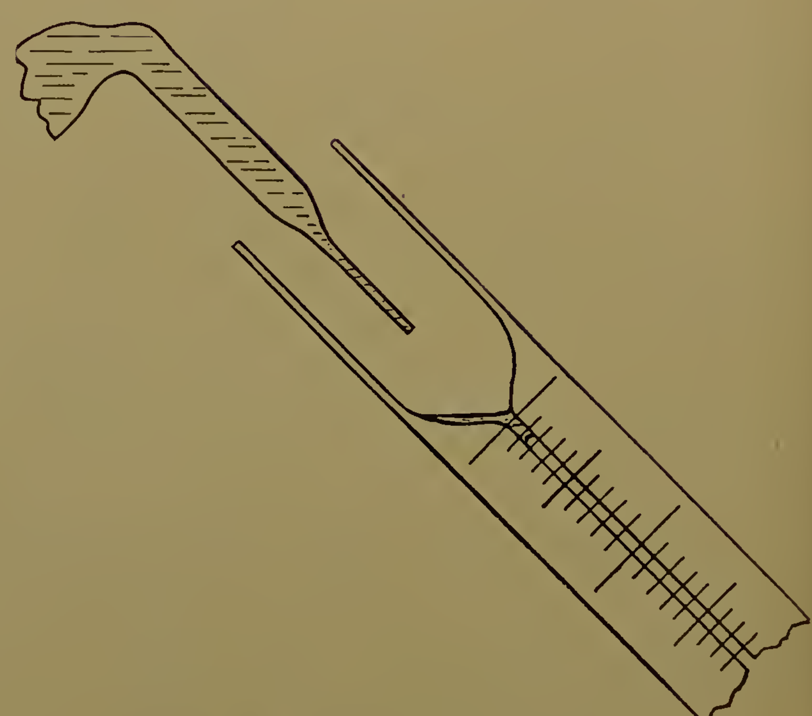
Der Apparat ist in Figur 194 abgebildet. Er besteht aus einer kapillaren, in Millimeter geteilten Röhre von 0.25 mm lichtem Durchmesser




Figur 194. Gasanalyseapparat, nach Krogh.



Figur 195. Gasanalyseapparat, nach Krogh.



Figur 196. Gasanalyseapparat, nach Krogh.

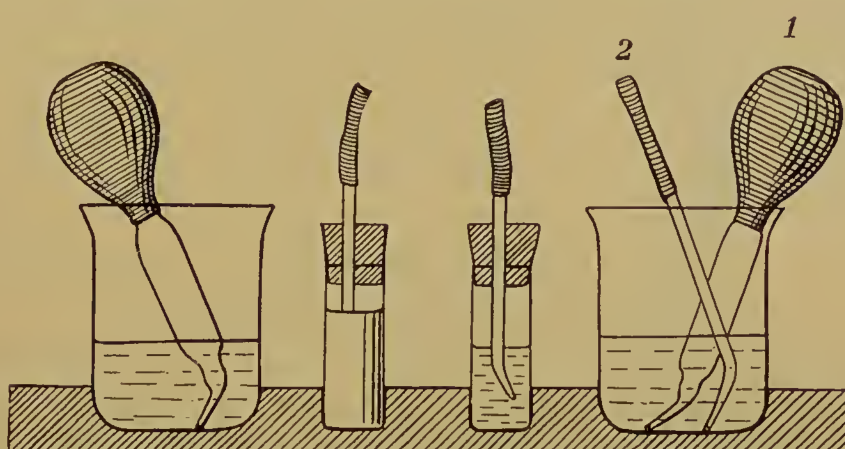
und etwa 10 cm Länge. Eine Länge von 2 cm entspricht einem Volumen von etwa 1 cmm. Die Röhre wird mit Wasser gefüllt.

An beiden Enden ist die Röhre trichterförmig erweitert; der obere Trichter ist mit einem Pfropfen versehen und dient nur zur Reinigung des Apparates. Mittels einer in Quecksilber gehenden Schraube kann der Inhalt der Röhre langsam nach oben oder unten verschoben werden.

Die Röhre dient zur Messung des Gasbläschens, und im unteren Trichter finden die Gasabsorptionen, die eine nach der anderen, statt.

Der graduierte Teil der Röhre ist von einem mit Wasser gefüllten weiteren Rohr umgeben; dasselbe wird von einem Stativ getragen und von Zeit zu Zeit umgedreht, um das Wasser zu mischen und also bei ihm eine gleiche Temperatur zu unterhalten. Bei der Analyse wird der ganze Apparat in drei verschiedenen Lagen benutzt: 1. vertikal; 2. mit dem unteren Ende unter einem Winkel von 45° nach links gedreht (Fig. 195); 3. mit dem unteren Ende unter einem Winkel von 135° nach links gedreht.

Die Reagentien sind in einem besonderen kleinen Gestell aufbewahrt. Sie bestehen aus destilliertem Wasser, einer fast gesättigten Lösung von Kaliumhydrat (10 g Substanz auf 5.5 ccm Wasser) zur Absorption der Kohlensäure, und Pyrogallussäure (die eben genannte Lösung mit Pyrogallussäure gesättigt, 1 : 10) (Fig. 197).



Figur 197. Reagentien zur Gasanalyse, nach Krogh.

Die Analyse wird folgenderweise ausgeführt. In die graduierte Röhre wird ein Gasbläschen von 3—6 cmm, also von einer Länge von 6—12 cm aufgesogen und das Wasser in dem äußeren Rohre gemischt. Dann wird durch die Schraube das untere Ende des Bläschens auf 0 gebracht und die Länge des Bläschens sowie die Temperatur im umgebenden Wasser abgelesen. Hierbei soll man eine etwa 6—8 mal vergrößernde Linse benutzen.

Sodann wird der Apparat in die Lage 3 (Fig. 196) gebracht und das Wasser mittels einer feinen Pipette in solcher Menge aus dem Trichter entfernt, daß nur eine dünne Grenzschicht gegen das Bläschen übrig bleibt. Der Trichter wird nun mit der Lauge gefüllt und der Apparat in die Lage 2 (Fig. 195) gebracht.

Das Bläschen wird mittels der Schraube nach unten in die aus Figur 195 ersichtliche Lage gebracht und 2—3 mal hin- und zurückgeschraubt. Nach ½ Minute wird es wieder in die Röhre gesogen, und wenn es vollständig dahinein gelangt ist, aber nicht früher, wird der Apparat in die Lage 3 (Fig. 196) gestellt, die Lauge mittels des Ballons 1 (Fig. 197) aus dem Trichter gewaschen, dieser mit Wasser gefüllt, das Wasser im großen Rohr

gemischt, der Apparat in die Lage 1 (Fig. 194) gebracht, das untere Ende des Bläschens auf Null eingestellt und seine Länge sowie die Temperatur des Wassers abgelesen.

In genau derselben Weise wird dann der Sauerstoff bestimmt. Während der Absorption von Sauerstoff verändert sich die Farbe der Lösung von dunkelbraun zu olivenfarbig.

Bei der Berechnung des Versuchs erhält man die Temperaturkorrektion durch Subtrahieren von 0.0002 vom Logarithmus für jedes Zehntel, um welches die Temperatur zugenommen hat.

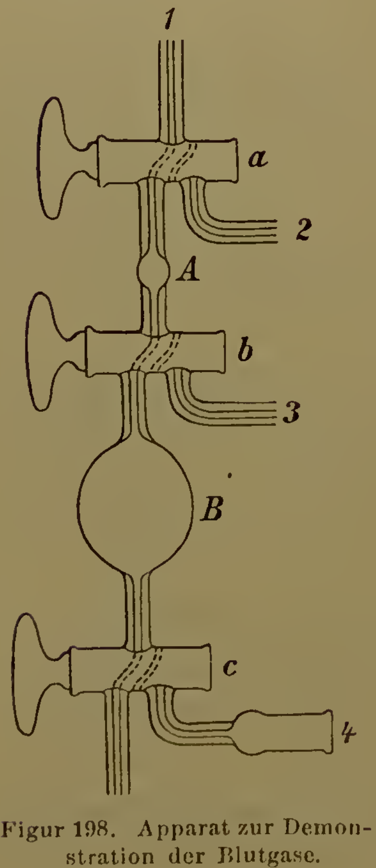
Zur Reinigung des Apparates muß man die Anwendung von starker Lauge vermeiden; konzentrierte Schwefelsäure ist zu empfehlen.

Es empfiehlt sich, diese Methode auch zur Bestimmung des Sauerstoffs in der atmosphärischen Luft zu benutzen; eine Kohlensäurebestimmung in der atmosphärischen Luft ist dagegen mit diesem Apparat nicht möglich, da mit demselben nicht ein geringerer Kohlensäuregehalt als etwa 0.1 Proz. nachgewiesen werden kann.

IV. Die Blutgase.

A. Demonstration der Blutgase.

Ein wirkliche Auspumpung und Analyse der Blutgase dürfte beim Praktikum nur ausnahmsweise, wenn jemals, vorkommen. Eine Beschreibung der hierher gehörigen Methoden kann daher hier ganz unterlassen werden. Nur sei die folgende einfache und billige Vorrichtung erwähnt, um das Vorhandensein vom Gas im Blut überhaupt nachzuweisen.



Figur 198. Apparat zur Demonstration der Blutgase.

Diese Vorrichtung (Fig. 198) besteht aus zwei untereinander verbundenen Glaskugeln *A* und *B*. *A* dient zur Probeentnahme, *B* ist ein Rezipient, wo das Blut entgast wird.

Vor der Probeentnahme wird die Kugel *B* dadurch ausgepumpt, daß man sie mittels eines an dem unteren Ende des Apparates befestigten Schlauches mit einem Quecksilberbehälter verbindet und bei offenen Hähnen *c*, *b*, *a* durch Heben des Behälters alle Luft bis oberhalb *a* aus dem Apparat austreibt; dann wird der Hahn *b* geschlossen und der Behälter so tief gesenkt, daß in der Kugel *B* ein Vacuum entsteht, worauf sie durch Drehen des Hahnes *c* geschlossen wird. Der Inhalt der Kugel ist etwa 50 ccm.

Behufs der Probeentnahme wird eine Kanüle

in das Gefäß eingebunden und durch ein Kapillarrohr mit dem Rohre 1 verbunden. Der Hahn *a* steht dabei in der Stellung, daß 1 und 2 miteinander kommunizieren. Wird jetzt das Gefäß geöffnet, so strömt das Blut durch das Kapillarrohr nach 1 und 2 und verdrängt die darin enthaltene Luft.

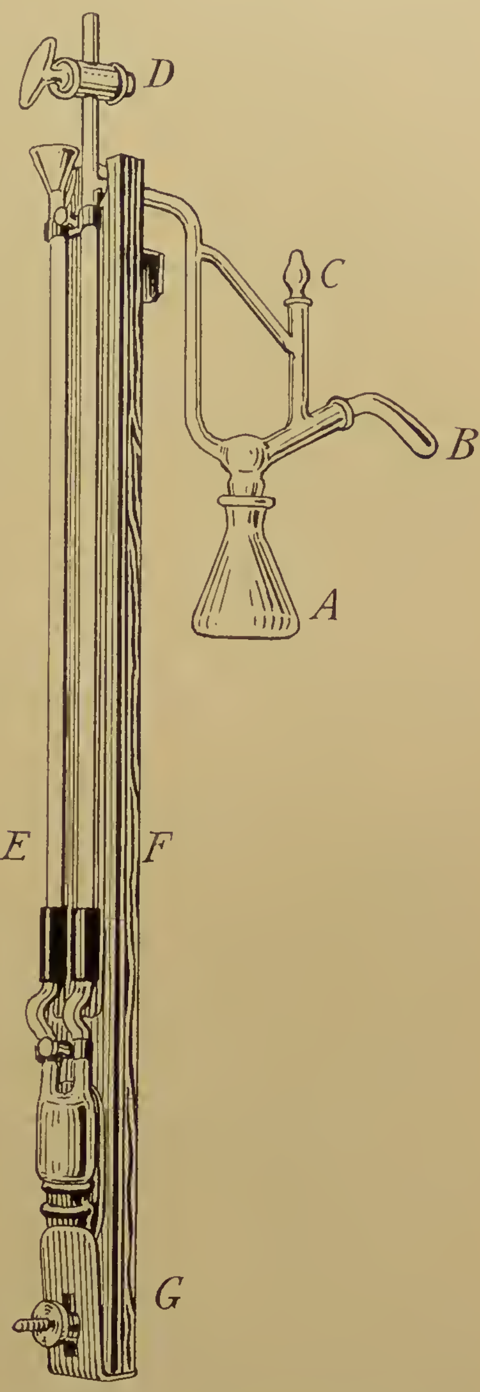
Nachdem dies stattgefunden hat, wird der Hahn *a* so umgedreht, daß 1 mit *A* verbunden wird. Das Blut strömt nun in die Kugel *A*, die nur 1 ccm faßt.

Diese ebenso wie die entsprechende Bohrung des Hahnes *a* ist aber vorher beim Auspumpen der Kugel *B* mit Quecksilber gefüllt worden. Wenn nun, durch Drehung des Hahnes *a*, 1 mit *A* verbunden wird, und zu gleicher Zeit auch 3 durch Drehen des Hahnes *b* mit *A* kommuniziert, drückt das herausströmende Blut das Quecksilber herab und füllt allmählich die Kugel *A* vollständig.

Um Verschütten von Quecksilber zu vermeiden, wird 3 mittels eines Schlauches mit einem untergestellten Glas verbunden.

Dann werden die Hähne *a* und *b* zugedreht und die Verbindungen des Kapillarrohrs an 1 und des Schlauches an 3 jetzt schnell gelöst.

Wenn man nun durch Drehen des Hahnes *b* die Kugel *A* mit dem Rezipienten *B* verbindet, so beginnt das Blut sofort zu kochen, d. h. Gase abzugeben.



Figur 199. Gasanalyseapparat nach Haldane und Barcroft, modifiziert von Szili.

B. Analyse der Blutgase.

Zur Analyse der Blutgase kann auch im Praktikum die Ferrizyankalium-Methode von Haldane und Barcroft benutzt werden.

Bei dieser Methode muß man 1. durch eine Ammoniaklösung (2 Teile konzentr. Ammoniak auf 500 Teile destilliertes Wasser) das Blut lackfarbig machen; 2. durch Zusatz von Ferrizyankalium den Sauerstoff aus dem Blute heraustreiben und messen; 3. durch Zusatz von Weinsäure die Kohlensäure aus dem Blute heraustreiben und messen.

Der hierzu gebrauchte Apparat ist nach einer Modifikation von Szili folgendermaßen gebaut (vgl. Fig. 199).

Das U-förmige Manometer, das aus den zwei Glasröhren *E*, *F* und einer sie verbindenden Gummiblase besteht, wird bis zu einem gewissen Teilstrich mit Wasser beschickt und durch Öffnen des Hahnes *D* am oberen Ende des einen Schenkels *F* die Flüssigkeit in beiden Schenkeln auf dasselbe Niveau gebracht. Dieser Schenkel trägt noch das Röhrensystem *A*, *B*, *C*. An dem untersten Schliff wird die kleine Flasche *A* befestigt. Diese enthält das Blut und die Ammoniaklösung. Das retortenähnliche Stück *B* ist an dem entsprechenden Schliff drehbar; es wird mit der Lösung von Ferrizyankalium beschickt; durch Drehen dieses Stückes strömt die Lösung in die Blutflasche. Endlich enthält die mit einem Glaspropfen geschlossene Röhre *C* die Weinsäurelösung. Dieselbe wird durch fortgesetztes Drehen des Stückes *B* ihrerseits mit der Blutflasche verbunden.

Zuerst werden in die Blutflasche 1.5 ccm der Ammoniaklösung gegossen und dann die abgemessene Blutprobe dahinein gebracht. Die Probeentnahme erfolgt durch eine exakt graduierte Pravaz-Spritze, und das zu analysierende Blutquantum — 1 ccm — wird in die Ammoniaklösung unterhalb dieser gespritzt, zunächst ohne mit ihr gemischt zu werden.

Die übrigen Teile des Apparates sind schon vorher mit den betreffenden Lösungen, 0.3 ccm einer gesättigten Ferrizyankaliumlösung und 0.4 ccm einer 20 prozentigen Weinsäurelösung beschickt.

Nachdem die Blutflasche an ihrem Geschliff angebracht ist, wird der Hahn *D* geschlossen und nun die Flasche geschüttelt, bis die vollständige Lösung der Blutkörperchen erfolgt ist. Dann gießt man die Ferrizyankaliumlösung hinzu, der Sauerstoff entweicht aus dem Blute und bewirkt einen Druckunterschied im Manometer. Mittels der Schraube *G* am unteren Ende des Manometers wird durch Druck auf die Gummiblase die Flüssigkeit wieder auf den Nullpunkt des Schenkels *F* gestellt. Man liest nun den Druck des Sauerstoffs direkt am Manometer ab.

Dann gießt man in die Blutflasche die Weinsäurelösung und bestimmt in der gleichen Weise den von der freigemachten Kohlensäure ausgeübten Druck.

Bei diesem Versuch ist zu bemerken, daß das Ammoniak auch einen gewissen Druck ausübt, der indessen nur wenige Millimeter beträgt; vor dem Zugießen der Ferrizyankaliumlösung muß dieser Druck abgelesen und später bei der Berechnung des Versuches in Betracht gezogen werden.

Um die Einwirkung von Temperaturänderungen möglichst zu vermeiden, wird die Blutflasche usw. in ein Gefäß mit Wasser gebracht, indem der Apparat auf seiner hinteren Seite ein rechtwinklig gebogenes Messingblech trägt, mittels welches es am Rande des Gefäßes aufgehakt werden kann.

Um aus den direkt gewonnenen Daten den Gehalt des Blutes an Sauerstoff und Kohlensäure berechnen zu können, muß man das Volumen der betreffenden Teile des Apparates kennen, d. h. das Volumen des Schenkels *F* über dem Nullstrich und aller mit ihm kommunizierenden Röhren

und Apparatteile. Von diesem Gesamtvolumen wird dann das Volumen der benutzten Lösungen abgezogen, und gerade deshalb müssen sie alle und nicht allein das Blut immer sehr genau abgemessen sein.

Wenn das Luftvolumen des Apparats bis zum Nullstrich mit V, die Temperatur des Wasserbades t, der Temperaturkoeffizient α und die Drucksteigerung p ist, so berechnet sich, da 760 mm Hg = 10 340 mm Wasser, die in 100 ccm Blut gefundene Menge des betreffenden Gases zu

$$100\, V \frac{p}{10\,340} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}$$

Bei sehr genauen Bestimmungen muß außerdem noch die Absorption der Gase in den Flüssigkeiten berücksichtigt werden.

ZEHNTES KAPITEL.

Die Bewegung der Lymphe.

A. Die Chylusgefäße beim Hunde.

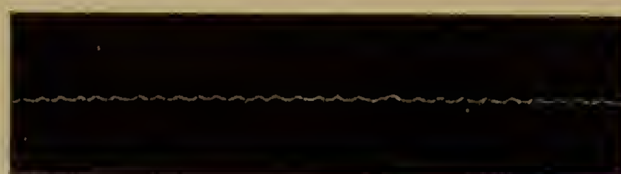
Um am Hunde die Chylusgefäße nachzuweisen, gibt man ihm reichlich Fett und tötet ihn etwa 6 Stunden nach der Fütterung. Beim Öffnen des Bauches sieht man die Chylusgefäße, in einem gewissen Abstand von dem Duodenum beginnend, mit dem milchähnlichen Chylus gefüllt. Wenn man diese Gefäße bis zur Darmwand verfolgt, findet man, daß die Chylusgefäße erst von der Einmündungsstelle des Wirsungschen Ganges an mit Milchsaft gefüllt sind.

Wenn man ein solches Gefäß aufschneidet, so daß der Milchsaft herausfließt, und den Darm durch elektrische oder mechanische Reizung zu Kontraktionen bringt, so schießt bei jeder Kontraktion eine stärkere Saftmenge aus dem verwundeten Gefäß.

Aus dem durchschnittenen Gefäß läßt man einige Tropfen Milchsaft auf ein Objektglas fallen und bringt sie unter das Mikroskop. Zum Vergleich untersucht man mit derselben Vergrößerung teils eine Probe Kuhmilch oder Sahne, teils den an der Schleimhaut des Darmes haftenden Inhalt.

B. Die Lymphherzen des Frosches.

Die Bewegung der Lymphe wird beim Frosch durch die vier Lymphherzen unterstützt, von welchen die zwei vorderen unterhalb der Scapula und die zwei hinteren an beiden Seiten des Coccyx liegen. Die Pulsationen der letzteren können durch die Haut hindurch wahrgenommen werden.



Figur 200. Die Bewegungen eines hinteren Lymphherzens beim Frosch, 4 mm/Sek.

Am durch Urethan narkotisierten und immobilisierten Frosch kann man die Bewegungen dieser Lymphherzen registrieren. Zu diesem Zwecke wird am Froschbrett ein sehr leichter Fühlhebel (vgl. S. 179) aus Strohhalm befestigt, und zwar in der Weise, daß der vom Hebel ausgehende Stab gerade gegen die Stelle des Pulsierens gedrückt wird (vgl. Fig. 200).

C. Die Durchlässigkeit der Froschlunge.

Man tötet einen Frosch, öffnet die Leibeshöhle, führt von der Glottis her eine feine, am Ende gut abgerundete Kanüle in den einen Zweig der Luftröhre ein, bindet sie dort fest und umgibt noch die Ligatur mit einem Band von dünnem Kautschuk, der sich auch etwas nach unten von der Ligatur erstreckt, so daß die Stelle der Lunge, wo der Faden angreift, gedeckt wird. Die zweite Lunge wird weggeschnitten und die Kanüle samt der an sie gebundenen Lunge mittels einer feinen Pipette mit 0.6 prozentiger Kochsalzlösung gefüllt. Die Kanüle wird an das Ende einer vertikal stehenden Glasröhre gebunden und diese wiederum mit Kochsalzlösung gefüllt, so daß die Höhe der Wassersäule von der unteren Spitze der Lunge an etwa 20 cm beträgt. Die Lösung filtriert nicht, solange die Lunge unversehrt bleibt. Nur etwa an der Stelle, wo die Ligatur die Lunge beschädigt hat, können Tropfen austreten, sonst nicht.

Ersetzt man aber die Kochsalzlösung durch destilliertes Wasser, oder bringt man die Lunge in heißes Wasser, kurz, setzt man sie allerlei schädlichen Einwirkungen aus, so fängt sogleich eine reichliche Filtration durch die Lunge an.

ELFTES KAPITEL.

Das Adrenalin.

Unter den Organen mit innerer Sekretion eignen sich die Nebennieren ganz besonders für Versuche im Praktikum, weil die aus ihnen gewonnene wirksame Substanz im akuten Versuch eine Reihe interessanter Erscheinungen hervorruft, die ohne Schwierigkeit beobachtet werden können.

Der Extrakt der Nebennieren ist im Handel unter dem Namen Adrenalin bekannt. Da es schon in einer außerordentlich geringen Menge eine maximale Wirkung entfaltet, muß das Adrenalin beim Versuche im Verhältnis von 1 : 10 000 verdünnt werden.

An einem mit Chloral narkotisierten Kaninchen präpariert man die Carotis, verbindet sie mit einem Quecksilbermanometer oder, um die Pulsform zu studieren, mit einem elastischen Manometer und injiziert in die V. jugularis 1—2 ccm der erwähnten Adrenalinlösung.

Der Blutdruck steigt sofort erheblich an, bleibt auf dem einmal erreichten Stand eine Zeitlang stehen und sinkt dann wieder auf das frühere Niveau herab. Der ganze Vorgang dauert nur ein paar Minuten.

Wenn man aber den Versuch in der Weise macht, daß man pro Minute 0.00002 — 0.00008 g Adrenalin, d. h. von einer Lösung 1 : 10 000 (0.9 proz. Kochsalzlösung) jede Minute 0.2 — 0.8 ccm von einer Bürette aus injiziert, so kann man sehr lange den Druck auf einer wesentlich größeren Höhe als ohne das Adrenalin halten. Da die solcherart injizierte Flüssigkeitsmenge für 100 Minuten nur 20—80 ccm beträgt, kann sie nicht an und für sich als die Ursache der Drucksteigerung angesehen werden, wovon man sich übrigens direkt überzeugen kann, wenn man einem Tiere die gleiche Menge einer 0.9 prozentigen Kochsalzlösung allein ebenso langsam injiziert.

Daß das Adrenalin wesentlich durch Verengerung der Gefäße diese drucksteigernde Wirkung ausübt, findet man, wenn man auf der Höhe der Adrenalinwirkung die Ohrgefäße eines Albinoskaninchens beobachtet.

Vielleicht noch deutlicher geht diese Tatsache durch Beobachtung der Zirkulation im Mesenterium oder in der Schwimmhaut eines Hinterfußes eines mit Urethan narkotisierten Frosches hervor (vgl. S. 149). Bringt man einen Tropfen der Adrenalinlösung auf das Präparat, so kontrahieren sich die Gefäße sofort.

Während der Adrenalinwirkung soll man auch das Auge des Kaninchens beobachten: die Pupille ist erweitert, die Nickhaut retrahiert, die glatten Lidmuskeln sind zusammengezogen.

Am Frosch ballen sich, bei subkutaner Injektion, die Pigmentkörnchen der Haut zusammen und rufen also eine bedeutende Veränderung der Hautfarbe hervor.

Bei größeren Gaben ruft das Adrenalin eine starke Giftwirkung hervor. Um diese zu demonstrieren, injiziert man einem Kaninchen intravenös 1—2 ccm einer Lösung 1 : 10 000 pro kg Körpergewicht, läßt das Tier frei und beobachtet die dann schnell auftretenden Störungen. Da Zucker hierbei im Harn erscheint, soll man den Harn, wenn möglich, sowohl vor als nach der Adrenalininjektion auf Zucker untersuchen.

Die Sektion nach dem Tode ergibt unter anderem ein akutes Lungenödem.

ZWÖLFTES KAPITEL.

Die Körpertemperatur und die Schweißsekretion.

I. Die Körpertemperatur.

Zur Bestimmung der Körpertemperatur werden gewöhnlich die Axille die Mundhöhle und das Rectum benutzt.

Im allgemeinen verwendet man hierbei Maximumthermometer, welche auf dem einmal erreichten höchsten Stand stehen bleiben.

Für die gleichzeitige Messung der Temperatur an den angegebenen Orten braucht man drei untereinander übereinstimmende, genau kontrollierte Thermometer. Die Kontrolle findet dadurch statt, daß man die Thermometer in Wasser von etwa 35° C hält, dessen Temperatur durch stetiges Umrühren in allen Schichten gleich groß ist, und sie nach etwa 4—5 Minuten abliest. Damit die Temperatur des Wassers während der Beobachtungsdauer nicht herabsinkt, muß das Wasser die ganze Zeit hindurch durch eine Gasflamme erwärmt werden.

Die Maximumthermometer, wie sie bei Temperaturbestimmungen am Menschen benutzt werden, stellen sich schon nach etwa einer Minute auf die richtige Temperatur ein.

Indessen muß man bei der Temperaturmessung in der Axille das Thermometer mindestens 10, lieber 15 Minuten lang liegen lassen, denn diese Höhle ist ja an und für sich nicht geschlossen, sondern wird es, indem man behufs der Temperaturmessung den Oberarm dicht gegen die seitliche Brustwand anlegt, und dann dauert es eine gewisse Zeit, bis sich diese Höhle so hoch erwärmt hat, wie es ihr überhaupt möglich ist.

In der Mundhöhle bringt man das Thermometer unter die Zunge und schließt den Mund. Auch hier ist zu Beginn die Temperatur etwas niedriger als das erreichbare Maximum, weshalb die Messung wenigstens 5 Minuten lang zu dauern hat.

In das Rectum wird das Thermometer zu einer Tiefe von 5 cm hineingeführt; es kann schon nach ein paar Minuten fortgenommen werden, bleibt indessen der Sicherheit halber in der Regel noch etwas länger liegen.

Bei vergleichender Bestimmung der Temperatur an den genannten drei Orten ist es jedenfalls richtiger, die Thermometer gleichzeitig, nach etwa 10—15 Minuten, fortzunehmen.

Eine ganz befriedigende Messung der Hauttemperatur läßt sich überhaupt nicht durchführen, denn jede Anlegung irgendwelches Instruments an der Haut ruft unvermeidlich Veränderungen in den Leitungs- und Strahlungsverhältnissen der Haut hervor. Alle Werte sind also nur als approximative zu betrachten.

Zur einfachen Temperaturmessung der Haut dienen Thermometer mit platt abgeschliffener Kugel, die gegen die Haut sanft gedrückt wird, so daß keine vermeidbaren Störungen der Zirkulation auftreten mögen. Man beobachtet das Thermometer, bis es nicht mehr ansteigt.

Es ist von Interesse, die Bestimmungen bei verschiedenen Außentemperaturen vorzunehmen.

Die Tagesschwankungen der Körpertemperatur werden am besten am bettlägerigen Menschen im Rectum gemessen. Man mache eine Messung jede 15. oder 30. Minute, am besten unter Anwendung zweier untereinander gut übereinstimmender Maximumthermometer, so daß das eine Thermometer sogleich nach der Fortnahme des anderen eingeführt werden kann.

Auch kann man natürlich entsprechende Messungen am Kaninchen oder an der Taube ausführen.

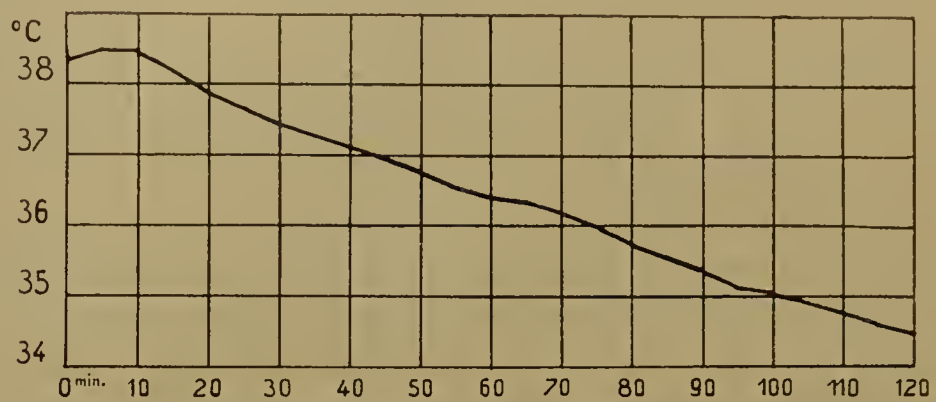
Die Resultate eines solchen Versuches werden auf Millimeterpapier eingetragen.

Um die Bedeutung der Muskelbewegungen und -spannungen für die Körpertemperatur nachzuweisen, bestimmt man zuerst beim ruhenden bettlägerigen Menschen die Temperatur in der Mundhöhle und im Rectum. Hierzu genügen 5 Minuten. Dann läßt man das Versuchsindividuum eine Viertelstunde lang kräftig arbeiten (Heben von Gewichten, Treppenlaufen) und bestimmt sogleich nach Ende der Arbeit die Temperatur beim Liegen. Die Temperatur ist im Rectum deutlich höher als vor der Arbeit; auch in der Mundhöhle kann sie allerdings eine Erhöhung darbieten, es kann aber auch eine Temperaturabnahme vorkommen, indem die Mundhöhle auf Grund der verstärkten Atmung und der Schweißabsonderung am Gesicht lokal abgekühlt wird.

Die Einwirkung der Muskelruhe auf die Körpertemperatur des Menschen läßt sich einfach dadurch nachweisen, daß man am liegenden Men-

schen, der alle Muskeln möglichst entspannt, während 1—2 Stunden die Rektaltemperatur jede 10. oder 15. Minute bestimmt (vgl. oben).

Am Kaninchen kann man den entsprechenden Versuch machen, indem man das mit Chloral narkotisierte Tier auf das Operationsbett befestigt und die Rektaltemperatur jede 5. Minute abliest. Die durch die Narkose



Figur 201. Rektaltemperatur des gefesselten Kaninchens, nach subkutaner Injektion von 1.3 g Chloral.

bewirkte große Schlaffheit aller Muskeln bringt binnen kurzem eine bedeutende Abnahme der Körpertemperatur zustande (vgl. Fig. 201).

Die Temperatur innerhalb der Kleider wird dadurch bestimmt, daß man zwischen den einzelnen Kleidungsstücken Maximumthermometer einschließt; auch an der Kleideroberfläche legt man ein Thermometer an, bis es nicht mehr ansteigt.



Figur 202. Topographie des Kaninchengehirns, nach Trendelenburg.
◯ Trepationsort für die motorische Gegend.

Zur Orientierung in bezug auf die Wärmeökonomie der kaltblütigen Tiere möge folgender Versuch dienen.

Man nimmt zwei gleichgroße Gläser von etwa 1 l Inhalt, stellt sie nebeneinander und füllt das eine mit reinem Wasser, das andere mit Wasser und 5—6 Fröschen, und zwar so, daß das Wasser in beiden Gläsern gleichhoch steht. In jedes Gefäß wird ein Thermometer zu gleicher Tiefe ein-

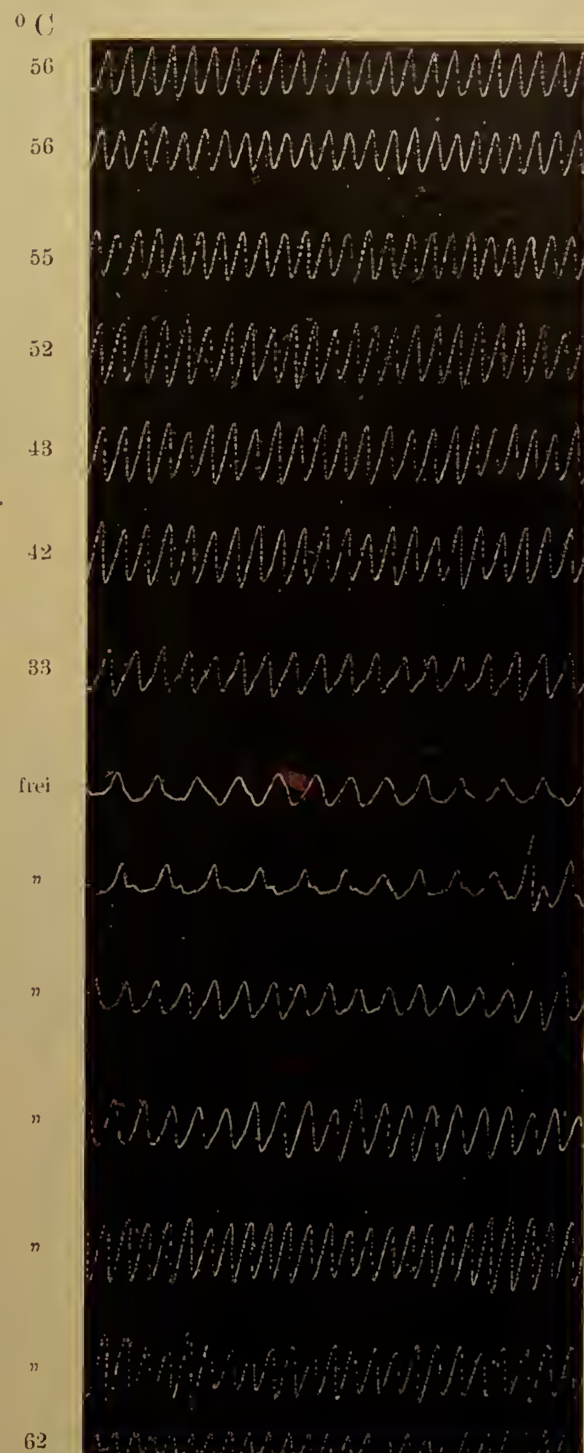
getaucht und jede 5. Minute abgelesen. Die Bedingungen des Wärmeverlustes sind in beiden Gläsern dieselben. Nichtsdestoweniger steigt die Temperatur in dem Glase, wo die Frösche sind, höher als im andern Glas, was also auf der bei den Fröschen stattgefundenen Wärmebildung beruhen muß.

Bei allerhand Eingriffen in das zentrale Nervensystem treten Veränderungen der Körpertemperatur in der einen oder anderen Richtung sehr leicht auf. Diese sind indessen in der Mehrzahl der Fälle von Muskelkrämpfen oder -lähmungen verursacht und lehren daher nichts über die Bedeutung der betreffenden Teile des Nervensystems für die Wärmeökonomie des Körpers.

Wichtiger ist der Wärmestich ins Corpus striatum, welcher am Kaninchen in folgender Weise ausgeführt wird.

Nach Längsschnitt durch die Kopfhaut wird ein Trepanloch von 7 mm Durchmesser an der Vereinigung der Sutura sagittalis und coronalis (Fig. 202) so angelegt, daß die Zacken des Trepans eben gerade über diese Suturen als mediale und kaudale Begrenzung zu stehen kommen. Nach Spaltung der Dura wird mit einer Nadel von 3 mm Durchmesser etwa 1 mm seitlich vom Sinus longitudinalis zwischen den zwei in der Wunde sichtbaren, senkrecht zum Sinus laufenden Gefäßen bis zur Basis cranii eingestochen.

Nachdem die Temperatur einen hohen Stand erreicht hat, gibt man dem Tiere ein temperatursenkendes Mittel, z. B. Antipyrin, und kann dann die dadurch bewirkte Temperatursenkung wahrnehmen.



Figur 203. Polypnoe beim Kaninchen; die Respirationsbewegungen sind mittels einer Doppelkapsel (s. S. 184) auf den Brustkasten geschrieben. Inspiration nach oben. 4 mm/Sek. Die Zahlen links geben die Temperatur im Wärmekasten an. Von unten nach oben zu lesen. Der Versuch beginnt bei einer Kastentemperatur von 62⁰ C; dann wird der Kasten abgekühlt, die Atmungsfrequenz nimmt allmählich ab, bis die Erwärmung bei der 8. Reihe wieder anfängt.

Tiere, welche, wie der Hund, nicht schwitzen können, vermehren, wenn sie einer hohen Außentemperatur ausgesetzt werden, den Wärmeverlust ihres Körpers durch eine starke Beschleunigung der Atmungsfrequenz, wobei die Tiefe der einzelnen Atemzüge stark vermindert wird.

Am Kaninchen kann man diese Wirkung der Außentemperatur unter Anwendung der oben (S. 8) beschriebenen Wärmekammer nachweisen. Dabei steigt, wie aus der Figur 203 ersichtlich, die Frequenz der Atembewegungen beträchtlich an, ohne daß das Tier irgendwelche andere, deutlich hervortretende Symptome darbieten würde.

Beim Hunde sind die Erscheinungen der Polypnoe viel bedeutender. Setzt man den Hund der Einwirkung eines Warmluftbades aus und läßt man dabei das Maul ganz frei, so stellt sich die Atmungsveränderung bald ein. das Tier atmet mit offenem Maul und ausgestreckter Zunge; die Körpertemperatur steigt dabei gar nicht an.

Wenn aber das Maul durch einen Mundkorb zugebunden wird, hört die Beschleunigung der Atmung auf, und nun steigt die Rektaltemperatur des Tieres steil an.

II. Die Schweißsekretion.

Daß die Schweißabsonderung unter dem direkten Einfluß des Nervensystems steht, geht aus folgendem Versuch an der Katze sehr schön hervor.

Man narkotisiert die Katze, bindet sie auf das Brett, macht die Tracheotomie und spritzt endlich Kurare intravenös ein. Wenn man dann mit der künstlichen Atmung aufhört, so tritt als Teilerscheinung der Erstickung eine deutliche Schweißsekretion auf den Fußsohlen auf. Man fängt mit der künstlichen Atmung wieder an, präpariert den Ischiadicus auf der einen Seite, durchschneidet ihn und reizt mit versenkbaren Elektroden den peripheren Stumpf. Auch nun erscheinen Schweißtropfen auf der Fußsohle.

Der Ischiadicus der Katze wird freigelegt, indem man den an der lateralen Fläche der Hüfte liegenden M. biceps und M. caudofemoralis an ihren proximalen Enden voneinander trennt; dann wird ersterer nahe seiner Mitte durchschnitten und beiseite geschoben und der Nerv während seines Verlaufes zwischen den Mm. vastus lateralis und semimembranosus in genügender Länge präpariert.

Schließlich legt man um denselben Schenkel eine Ligatur hoch oben, amputiert das Hinterbein, indem man mittels eines zirkulären Schnittes zuerst die Haut und dann die Muskeln bis zum Knochen durchtrennt, die Muskelstümpfe auseinander zieht und endlich den Oberschenkelknochen durchsägt. An diesem Bein reizt man den Ischiadicus wieder; trotz des aufgehobenen Kreislaufes treten dabei immer noch einige Schweißtropfen an der Fußsohle hervor.

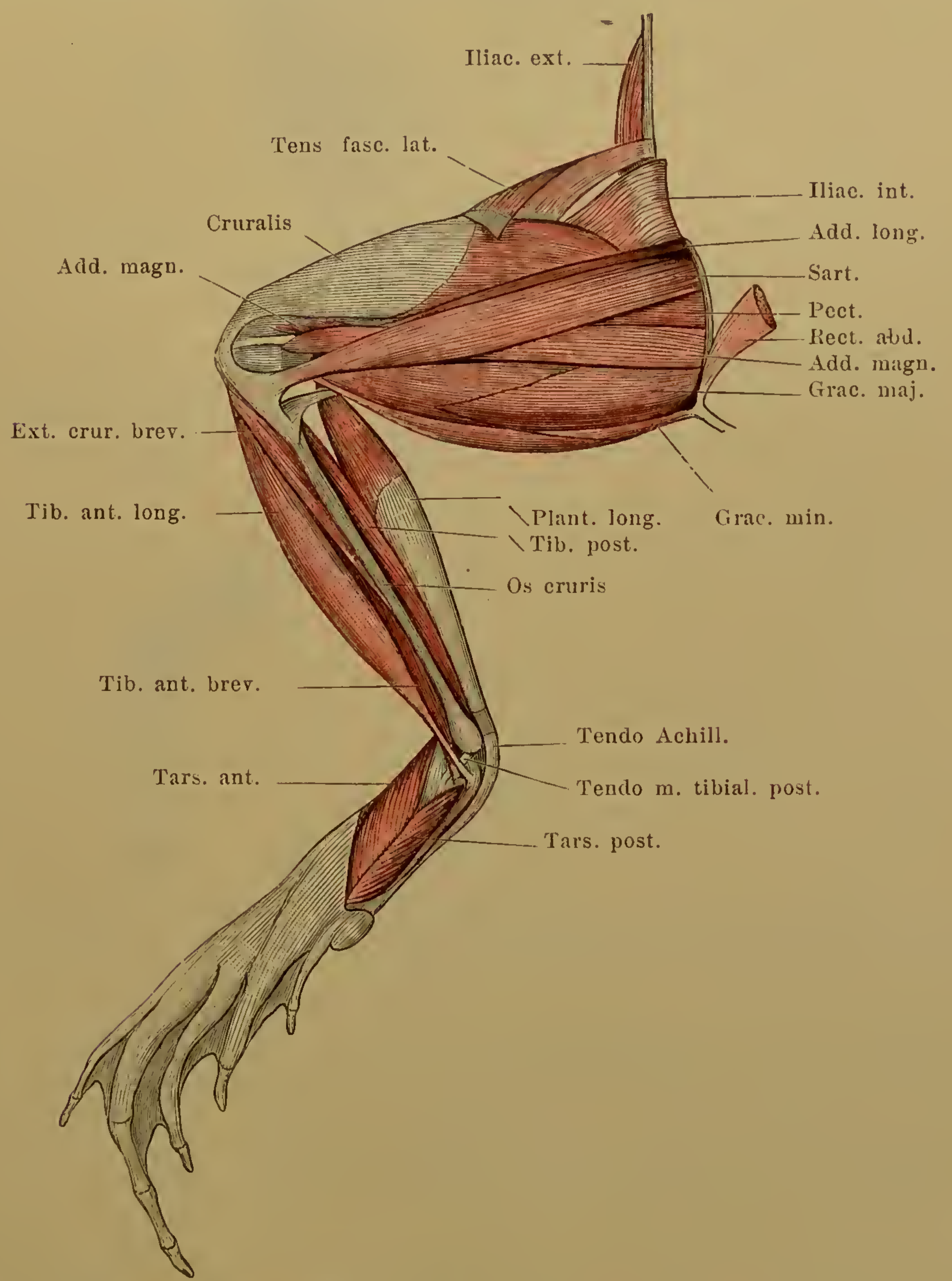
DREIZEHNTES KAPITEL.

Allgemeine Nerven- und Muskelphysiologie.

I. Allgemeines.

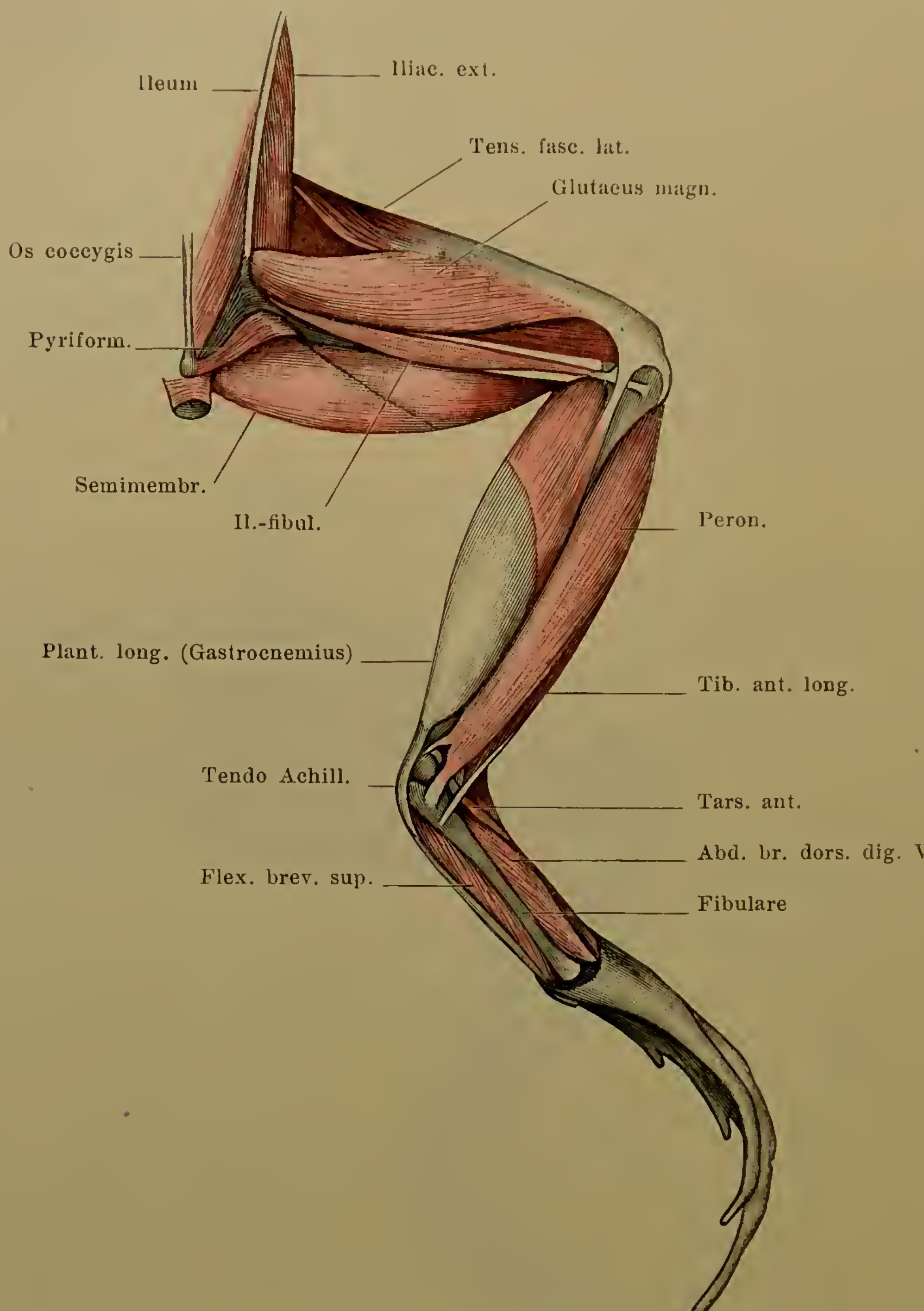
A. Die Herstellung des Präparates.

Die Versuche über die allgemeinen Eigenschaften der Nerven und der Muskeln finden hauptsächlich an den Nerven und Muskeln der hinteren Extremitäten des Frosches statt.



Figur 204. Die Muskeln des rechten Hinterbeines der Rana esculenta von unten, nach Gaupp.

In Figur 204 und 205 sind die Muskeln des rechten Hinterbeins der Rana esculenta von oben und unten dargestellt. Die bei den einschlägigen Versuchen in Betracht kommenden Muskeln sind die Mm.



Figur 205. Die Muskeln des rechten Hinterbeines der Rana esculenta von oben, nach Gaupp.

gastrocnemius (plantaris longus), sartorius und gracilis (adductur magnus); unter den Nerven wird ausschließlich der N. ischiadicus benutzt. Zur Untersuchung der Eigenschaften der Nerven wird der N. ischiadicus entweder allein oder im Verein mit dem M. gastrocnemius benutzt.

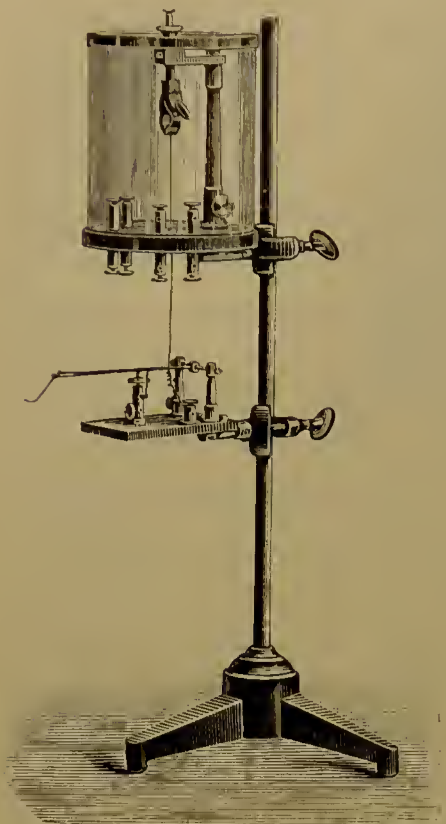
1. Die Präparation des Ischiadicus beim Frosch.

Diese Präparation kann in sehr verschiedener Weise stattfinden, und jedes Institut hat wohl in dieser Hinsicht seine eigene Methode. Meinerseits habe ich folgendes Verfahren als zweckmäßig gefunden.

Man faßt den Frosch am hinteren Teil des Körpers an, schneidet mit einer scharfen Schere den Rücken auf der Höhe der hintersten Wirbel durch und entfernt mittels eines gegen das Becken gerichteten Schnittes sämtliche Baucheingeweide. Mittels eines in den Rückgratkanal eingeführten dicken Drahtes werden in der abgetrennten proximalen Hälfte des Körpers Rückenmark und Gehirn zerstört; desgleichen der Rückenmarksrest im distalen Teil. Die an dem Anus festsitzende Haut wird mit einer krummen Schere entfernt. Dann faßt man in einer Falte eines Handtuches das zurückgebliebene Stück des Rückenmarkes mit dem Daumen und dem zweiten Finger der linken Hand, sowie, in einer anderen Falte des Handtuches, die Rückenhaut zwischen dem Daumen und dem zweiten Finger der rechten Hand und zieht nun mit einem schnellen Zug die ganze Haut von den Hinterextremitäten ab. Das Präparat wird mit der Rückenseite nach oben auf eine Korkplatte gelegt und daselbst mittels Stecknadeln befestigt, welche in den Zehen und den Beckenmuskeln eingestochen werden. Durch vorsichtiges Ziehen werden die an der Hinterseite des Oberschenkels liegenden Muskeln auseinandergezogen, welche den N. ischiadicus decken. Die Äste des N. ischiadicus zu den Muskeln des Oberschenkels werden nahe an ihrem Eintritt in die betreffenden Muskeln durchschnitten und dann auch diese Muskeln selbst, so daß der Nerv endlich während seines ganzen Verlaufs längs dem Oberschenkel frei liegt. Dann führt man einen Schnitt dicht an der inneren Seite des Os ilei, macht diesen Knochen frei und kehrt den medialen Rest des Beckens nach oben: jetzt liegt der Ischiadicus frei während seines ganzen Verlaufes im Becken von seinem Austritt aus dem Rückgratkanal. Die von ihm ausgehenden Äste werden wie früher ganz nahe ihrem Eintritt in den entsprechenden Muskeln durchschnitten. Nachdem der Nerv solcher Weise in seiner ganzen Länge bis zum Kniegelenk frei präpariert ist, wird das Rückgrat dicht unterhalb des Austrittes des Nerven durchschnitten. Der übriggebliebene Teil wird beibehalten und dient als Handgriff. Der Oberschenkelknochen, der ja schon von den Muskeln entblößt ist, wird im Hüftgelenk exartikuliert oder dicht unterhalb desselben durchschnitten; die Achillessehne wird von ihrem Festpunkt abgetrennt, und der M. gastrocnemius (= M. plantaris longus, Gaupp) mit leichter Gewalt von den Unterschenkelknochen abgelöst und endlich dieser unterhalb des Kniegelenks durchschnitten.

Um das Präparat vor Vertrocknung zu schützen, bringt man es in eine feuchte Kammer (Fig. 206), d. h. in einen Raum, welcher durch einen abnehmbaren gläsernen Deckel verschlossen ist und in welchem die Luft mittels an die Wand des Deckels gelegten Fließpapiers mit Feuchtigkeit

gesättigt ist. Die Kammer enthält ein kleines Stativ, das eine verstellbare Klemme trägt, in welcher der Oberschenkelknochen des Präparates festgeklemmt wird. Am unteren Ende des Muskels, in der Achillessehne wird ein Haken eingestochen; mittels eines Fadens, der durch ein in die Bodenplatte der Kammer gebohrtes Loch geht, steht dieser mit einem Schreibhebel in Verbindung. Wie aus der Figur 206 ersichtlich, werden die feuchte Kammer und der Schreibhebel von einem gemeinsamen Stativ getragen.



Figur 206. Feuchte Kammer mit Muskelklemme und Schreibhebel.

Die Bodenplatte der Kammer trägt noch einige Polschrauben für die elektrischen Leitungsdrähte.

Über verschiedene Hebel vgl. oben S. 43 sowie unten S. 262.

Um das Präparat in die feuchte Kammer einzusetzen und dabei den Nerven vor Dehnung, Spannung und Druck möglichst zu schützen, faßt man den Oberschenkelknochen zwischen den dritten und zweiten Finger der linken Hand und den Stumpf des Rückenmarkes zwischen den zweiten Finger und den Daumen derselben Hand. Die rechte Hand bleibt dann für die Einführung und Befestigung des Präparates an dem Stativ frei, und der Nerv liegt die ganze Zeit vollständig schlaff. Wenn der Nerv wegen zu langsamer Präparation oder aus irgendwelchen anderen Ursachen trocknen sollte — was beim Versuch große Übelstände verursachen könnte — kann dem dadurch abgeholfen werden, daß der Nerv, bevor er in die feuchte Kammer gebracht wird, mit einer 0.6 prozentigen Lösung von chemisch reinem Kochsalze übergossen wird.

2. Die Präparation des M. adductor magnus beim Frosch.

Bei mehreren Fragen, wie bei der Untersuchung der Muskelelastizität, bezw. der elektrischen Vorgänge im Muskel, ist es nützlich, den parallelfaserigen M. adductor magnus des Frosches anzuwenden. Dieser Muskel wird nach den Vorschriften von du Bois-Reymond in folgender Weise präpariert.

Die hinteren Extremitäten des wie oben getöteten Frosches werden enthäutet; die Haut darf dabei nicht einfach abgezogen werden, sondern muß nebst dem M. rectus int. min. unter sorgfältigem Vermeiden jeder Beschädigung des M. adductor magnus vom Becken bis zum Kniegelenk abgelöst werden. Erst dann wird der noch übrig bleibende Rest der Haut abgezogen. Der Sartorius wird entfernt.

Nachdem die Mm. pyriformis und coccygco-iliacus durchschnitten worden sind, wird der N. ischiadicus von oben bis unten bis zu der Stelle, wo die Äste für die Oberschenkelmuskeln abgehen, bloßgelegt; die für die Mm. adductor magnus, semitendinosus und semimembranosus bestimmten Nervenäste werden beibehalten, die anderen durchschnitten.

Der M. semimembranosus wird vorsichtig von der Tibia abgelöst und nach hinten und zur Seite geschlagen; die zu ihm sowie zu den Mm. semitendinosus und adductor magnus gehenden Nervenäste liegen nun frei und treten auf Grund des Pigmentes in den ihnen begleitenden Blutgefäßen scharf hervor; M. semimembranosus wird jetzt von unten nach oben mit der größten Vorsicht vom M. adductor magnus getrennt und dessen Nerv durchschnitten.

Der N. ischiadicus wird unterhalb des Ursprunges der Äste für die Mm. adductor magnus und semitendinosus durchschnitten; sein Stamm wird nebst den zu den genannten Muskeln gehenden Nervenästen bis nahe an ihren Eintritt in diese freigelegt und dort als ein kleines Päckchen zusammengelegt.

Hiernach führt man das eine Blatt einer Schere unter die Sehnen der Mm. adductor magnus und semitendinosus, das andere unter den Oberschenkelknochen und schneidet dieses dicht oberhalb des Kniegelenks ab; mit dem Unterschenkel als Handgriff löst man die Mm. adductor magnus und semitendinosus bis zum Becken von ihrem Zusammenhang mit den angrenzenden Muskeln ab; diejenigen Sehnen, durch welche der M. semitendinosus an der Tibia und an das Becken befestigt ist, werden durchschnitten, und dieser Muskel nach Durchschneidung seines Nerven vom M. adductor magnus abgelöst, der nun vorsichtig zwischen dem Becken und dem Unterschenkelknochen ausgespannt wird.

B. Die Elastizität des Muskels.

Die durch verschiedene Belastung des Muskels bewirkte Dehnung desselben läßt sich ja ganz einfach dadurch bestimmen, daß man den Muskel an einem Stativ aufhängt, an seinem unteren Ende einen Schreibhebel befestigt, diesen mit immer größeren Gewichten belastet und bei jeder Belastung die Länge des Muskels an einem Registrierapparat aufzeichnet.

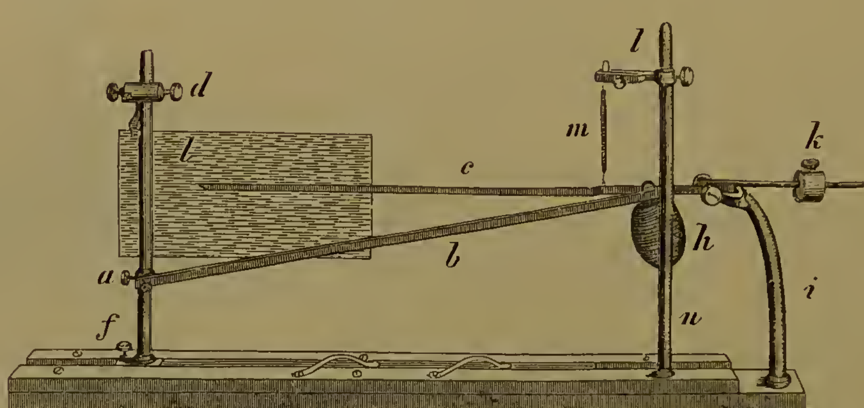
Hierbei begegnet man indessen einer eigentümlichen, durch die Eigenschaft der Nachdehnung verursachten Schwierigkeit. Wenn man ein Gewicht von z. B. 100 g am Hebel anbringt, so dehnt sich der Muskel um eine gewisse Größe, die auf den stillstehenden Zylinder registriert wird. Verschiebt man nun den Zylinder ein paar Millimeter und läßt das Gewicht fortfahrend den Muskel dehnen, so findet man, wie die Länge des Muskels noch zunimmt, und diese Zunahme dauert, obgleich mit allmählich abnehmender Intensität, bis zum Eintritt der Totenstarre fort.

Befestigt man statt des Muskels eine Spiralfeder am Hebel, und belastet man sie dann mit einem Gewicht geeigneter Größe, so tritt sogleich die maximale Dehnung auf, und die Spiralfeder wird nicht länger, wie lange auch das Gewicht an ihr hängen bleibt.

Die Eigenschaft der Nachdehnung, die der Muskel mit allen anderen tierischen Geweben teilt, erschwert in hohem Grade die Bestimmung seiner wirklichen Dehnungskurve, und nach der hier beschriebenen Methode kann man ja nie wissen, wann die Dehnung bei einem gewissen Gewicht als genügend angesehen werden soll.

Um diesem Übelstande zu entgehen, haben Marey und Blix Methoden ersonnen, welche gestatten, die Belastung momentan zu wechseln und gleichzeitig die Längenveränderung des Muskels zu registrieren. Hier ist also die Nachdehnung auf ein Minimum herabgedrückt.

Der Apparat von Blix ist nach einer Modifikation von Lovén folgendermaßen gebaut (Fig. 207).



Figur 207. Apparat zur Untersuchung der Muskelelastizität, nach Blix und Lovén.

Auf einer Holzplatte werden befestigt: 1. ein Stativ *i* mit Lager für den Schreibhebel *c*; 2. ein zweites Stativ *n* für die feuchte Kammer und den Muskelhalter *l*; 3. zwei Leisten, zwischen denen auf einer Glasscheibe ein Schlitten hin und zurück geführt werden kann. Dieser Schlitten ist durch zwei Flachfedern gegen die untere Platte gedrückt; an ihm ist ein Stativ *f* befestigt, welches den Hebel *b* trägt. Dieser kann mittels der Schraube und dem Gelenk bei *a* erhöht und gesenkt werden. Am Stativ *f* ist noch der Arm *d*, welcher die platte Tafel *l* trägt, angebracht.

Der Schreibhebel *c* ist um eine horizontale Achse beweglich, und bei ihm wird der Muskel so angebracht, daß die Entfernung seines Angriffspunktes von der Achse etwa $^1/_4$ der ganzen Länge des Hebels beträgt. Dieser Teil des Hebels ist mit einem runden Glasrohr überzogen.

Wie schon erwähnt, ist der Hebel *b* mit seinem linken Ende an *a* befestigt; mit seinem rechten Ende ist er durch ein | -förmiges Stück mit dem Hebel *c* verbunden. Wenn der Schlitten hin- und zurückbewegt wird, wird auch *b* längs dem Hebel *c* hin- und zurückgeführt. Links kann *b* nicht weiter als bis zum Angriffspunkt des Muskels kommen, rechts werden

seine Bewegungen in der Nähe der Achse des Schreibhebels gehemmt. Die Friktion zwischen *b* und *c* ist verhältnismäßig gering, da der Schreibhebel mit Glas überzogen ist und *b* mittels einer Metallfassung gegen dieses gleitet.

An seiner unteren Seite trägt das ⊔-förmige Stück ein Gewicht *h*. Wenn der Schlitten nach links geführt wird, wird dieses Gewicht auch nach links geführt und wirkt also mittels eines immer länger werdenden Hebelarmes auf den Muskel. Gleichzeitig wird auch die Platte *l* in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit geführt, und der Muskel zeichnet also bei jeder verschiedenen Lage der Belastung seine entsprechende Länge auf die Platte. Wenn *h* stetig längs *c* geführt wird, zeichnet also der Muskel eine ununterbrochene Dehnungskurve, und da die auf den Muskel wirkende Belastung direkt proportional der Länge des entsprechenden Hebelarmes ist, stellt die gezeichnete Kurve die Dehnung des Muskels bei gleichmäßiger Zunahme der Belastung dar.

Um beim Versuch von der Belastung Null ausgehen zu können, muß man vorher den Hebel *c* äquilibrieren, wenn das Gewicht so nahe wie möglich der Hebelachse plaziert ist. Dies geschieht durch das Laufgewicht *k*.

Je nach der Größe des Muskels wählt man die Größe der Belastung und befestigt das Gewicht mittels einer Schraube an das ⊔-förmige Stück.

Wenn der Schlitten von links nach rechts geführt wird, wird der Muskel allmählich entlastet und zeichnet nun auf die Platte seine Entlastungskurve. Wenn aber, beim äußersten Stand des Schlittens nach links, der Hebel *b* höher als der Schreibhebel steht, so strebt er, bei der Bewegung des Schlittens nach rechts, den Schreibhebel nach unten zu drücken; steht *b* tiefer als *c*, so wird *c* dadurch bei der Bewegung nach rechts nach oben geschoben. Hierdurch können natürlich sehr wesentliche Fälschungen der Kurve entstehen; um diesem Übelstand zu entgehen, soll man den Versuch so anordnen, daß *b* und *c* untereinander parallel sind, wenn der Schlitten seine extreme Lage nach links einnimmt.

Die Bewegungen des Schlittens werden durch eine an *f* befestigte Kurbelstange zustande gebracht.

Dieser Apparat eignet sich natürlich zur Untersuchung der Dehnungskurve sowohl bei anorganischen Körpern als bei organischen Geweben. Es empfiehlt sich daher, mit diesem Apparat die Dehnungs- und die Entlastungskurve 1. an einer Spiralfeder; 2. an einem parallelfaserigen Muskel (Sartorius oder Adductor magnus); 3. am Gastrocnemius: 4. an einer vom Körper ausgeschnittenen Arterie; 5. an einer vom Körper ausgeschnittenen Vene; 6. an einem Kautschukstreifen zu schreiben.

II. Die Reizung des Nerven und des Muskels.

A. Die Reizung mit Induktionsströmen.

Über die Induktionsapparate, ihre Eichung usw., vgl. oben S. 34.

1. Unterbrecher.

Da die Nerven für sogar sehr geringe Schwankungen in der Intensität der Induktionsschläge sehr empfindlich sind, ist es bei der Reizung mit Induktionsströmen sehr wichtig, daß das Öffnen wie das Schließen des primären Stromes äußerst gleichmäßig stattfindet; daher können Unterbrecher, welche sich sonst gut bewähren, hier gar nicht benutzt werden.

Wenn man versucht, mittels eines elektrischen Tasters oder Schlüssels einfach mit der Hand den primären Strom zu schließen und zu öffnen, erhält man nie konstante Resultate, wenigstens nicht wenn es gilt, untermaximale Reizungen auszulösen. Man muß daher zur Unterbrechung des primären Stromes irgendeine selbsttätige mechanische Vorrichtung benutzen.

Zu diesem Zwecke sind zahlreiche Apparate angegeben worden, welche indessen hier nicht näher beschrieben werden können.

Im allgemeinen dürfte das Öffnen eines Kontaktes durch ein Pendel sehr gleichmäßige Resultate geben. Das Pendel muß aber so aufgestellt sein, daß bei seinen Bewegungen keine Erschütterungen entstehen.

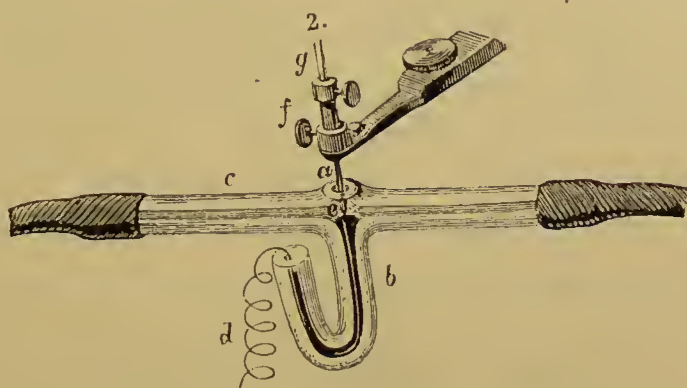
Auch das Herstellen oder Aufheben eines Kontaktes durch einen von einer gewissen Höhe fallenden Hammer kann gleichmäßige Resultate ergeben, insbesondere wenn der Hammer seinerseits von einem Elektromagneten getragen wird und durch Öffnung des Stromes zu diesem herabfällt; auch hier kommt indessen die Gefahr der Erschütterung in Betracht.

Gleichmäßige Öffnungen des primären Stromes können endlich auch dadurch erzielt werden, daß man an derselben Grundplatte, welche den Registrierzylinder trägt, einen Unterbrecher anbringt, der bei der gleichmäßigen Bewegung des Zylinders durch einen an diesen festgesetzten Dorn unterbrochen wird.

In vielen Fällen ist es vorteilhaft, einzelne Induktionsreize in einen gewissen Rhythmus auslösen zu können, z. B. einen Reiz jede Sekunde oder jede 2., 3., 4. usw. Sekunde. Hierbei sind die Schwierigkeiten noch größer, und zu ihrer Überwindung sind in der Regel ziemlich komplizierte Apparate notwendig.

Zu diesem Zwecke ist auch das Metronom vielfach angewendet worden, indem man dasselbe zum Öffnen und Schließen des primären Stromes zu einem Induktionsapparat eingerichtet hat (vgl. oben S. 57). Um die Oberfläche des hierbei benutzten Quecksilbers möglichst rein zu erhalten, füllt man die Näpfe mit Alkohol oder, was viel zweckmäßiger ist, man läßt nach dem Vorgang von Kronecker über das Quecksilber einen Strom von Wasser

oder verdünntem Alkohol langsam fließen. Zu diesem Zwecke gibt man den Quecksilbernäpfchen das aus der Figur 208 ersichtliche Aussehen. Durch das Rohr *c* strömt aus einer Mariotte'schen Flasche die Spülflüssigkeit; der

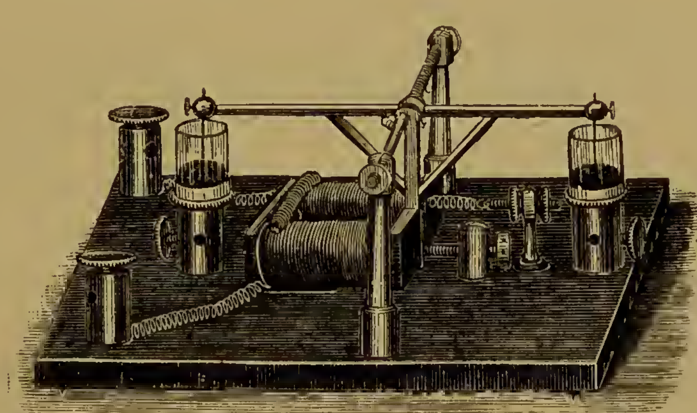


Figur 208. Spülkontakt, nach Kronecker.

unpaarige Schenkel des Rohres (*b*) ist mit Quecksilber in der Weise gefüllt, daß die Platinspitze *g* bei den Bewegungen des Metronomes mit der Kuppe desselben in Berührung kommt.

2. Abblender.

Bei Reizung mit einzelnen Induktionsströmen bzw. mit Induktionsströmen in langsamem Rhythmus — eine Reizung jede Sekunde oder jede 2., 3. usw. Sekunde — und übrigens auch bei frequenteren Reizungen ist es immer wünschenswert, in vielen Fällen geradezu notwendig, nur den Öffnungs- oder nur den Schließungsinduktionsschlag zu benutzen, denn nur so



Figur 209. Abblender, nach v. Frey.

kann der Nerv in bestimmten Intervallen mit einem Reiz von bestimmter Intensität und bestimmter Stromrichtung gereizt werden.

Der nicht erwünschte Induktionsschlag muß daher abgeblendet werden.

Bei einzelnen oder in genügend langsamem Rhythmus nacheinander folgenden Induktionsströmen kann dies sehr einfach geschehen, indem man die in die sekundäre Strombahn immer einzuschaltende Nebenschließung mit der Hand öffnet oder schließt (vgl. oben S. 38).

Bei einem etwas schnelleren Rhythmus ist dies natürlich nicht mehr möglich, und auch bei einem langsamen Rhythmus ist es sehr bequem, einen selbsttätigen Abblender zu benutzen.

Für nicht zu frequente Ströme hat v. Frey folgenden Abblender angegeben (Fig. 209). Der primäre Strom geht durch den liegenden Elektromagneten, der sekundäre durch Säule, Hebel und Platinspitze zu dem einen oder anderen der Quecksilbernäpfe. Wird der primäre Strom geschlossen, so wird der Anker vom Elektromagneten angezogen, und die Platinspitze taucht in das Näpfchen rechts. Wenn dieses mit der sekundären Strombahn verbunden ist, so ist indessen der Schließungsinduktionsstrom zur Zeit des Eintauchens der Platinspitze schon verschwunden und also vom Nerven abgeblendet worden. Wenn der primäre Strom wieder geöffnet wird, so wird der Anker durch die Spiralfeder vom Elektromagneten weggezogen und zugleich auch die Platinspitze vom Quecksilbernäpfchen entfernt. Dies braucht aber eine gewisse, wenn auch kurze Zeit, und während derselben hat sich der Öffnungsinduktionsstrom schon etabliert.

Wenn die sekundäre Strombahn mit dem Quecksilbernäpfchen links verbunden wird, wird in entsprechender Weise der Öffnungsinduktionsstrom abgeblendet und der Schließungsinduktionsstrom benutzt.

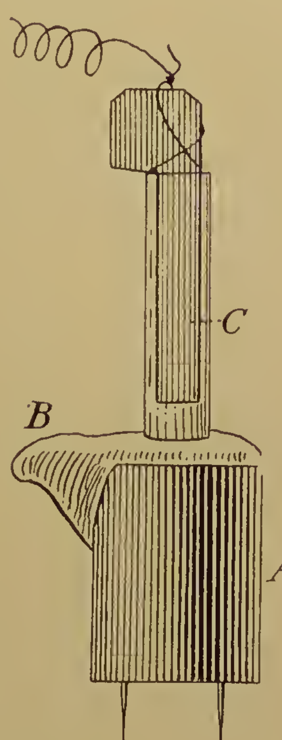
3. Elektroden.

Wenn es gilt, das Verhalten der Nerven und Muskeln an sich bei der elektrischen Reizung zu studieren, wie auch in den Versuchen, wo die elektrischen Vorgänge in ihnen untersucht werden sollen, sind Metall- (Platin-) elektroden nicht anwendbar, teils weil es schwer ist, zwei Metallstücke zu erhalten, welche keine Potentialdifferenz darbieten, teils weil, wo dies dennoch der Fall ist, die elektrische Gleichförmigkeit bei der Berührung mit den tierischen Teilen äußerst leicht aufgehoben werden kann. Bei Anwendung solcher Elektroden würden daher die Nerven und Muskeln von einem in dieser Weise enstandenen, unkontrollierbaren Strom unaufhörlich durchflossen werden, was die Resultate in vielen Fällen völlig wertlos machen könnte. Hierzu kommt aber noch, daß bei dem Gang des Stromes durch die Metallelektroden zwischen diese und die tierischen Gewebe eine Polarisation entsteht, die einen in entgegengesetzter Richtung verlaufenden Strom erzeugt. Da dieser unter Umständen ziemlich stark werden kann, wird dadurch die Konstanz des Reizstromes mehr oder mehr weniger herabgesetzt und die Resultate der Reizung also noch unsicherer.

Daher muß man immer, wo sich das nur machen läßt, bei den elektrischen Versuchen an Nerven und Muskeln unpolarisierbare Elektroden benutzen, d. h. Elektroden, welche an und für sich keine Potentialdifferenz darbieten und unter der Einwirkung eines anderen Stromes nicht selber polarisiert werden.

Diese Elektroden bestehen aus einem gut amalgamierten Zinkblech, welches mit dem Leitungsdraht zur Batterie verbunden wird und in einer konzentrierten Lösung von Zinksulfat taucht. Die Lösung muß neutral sein; um dessen sicher zu sein, versetzt man zweckmäßig die Lösung mit etwas Zinkoxyd und filtriert sie darauf. Da eine so starke Zinksulfatlösung, wenn sie mit dem Nerven in Berührung kommen sollte, ihn vollständig zerstören würde, wird der Nerv auf ein mit 0.6 prozentiger Kochsalzlösung zusammengeknetetes Stück Ton gelegt, das seinerseits mit der Zinksulfatlösung in Berührung kommt. Das Zinkblech darf den Kochsalzton nicht berühren. Je größer die Oberfläche des Zinkblechs ist, um so sicherer ist die Polarisation ausgeschlossen.

Die Form der unpolarisierbaren Elektroden ist sehr verschieden, und fast jedes Institut hat sein spezielles Modell. Die folgende Form hat sich als sehr bequem erwiesen (Fig. 210). *A* ist ein hohler Zylinder aus Ebonit, dessen Vorderfläche etwas ausgeschnitten ist; in den Boden desselben sind zwei Stahlspitzen eingebohrt: sie sollen dazu dienen, den Zylinder an dem Boden der feuchten Kammer festzusetzen. Innen ist der Zylinder etwa zu $^1/_4$ seiner Höhe mit Paraffin gefüllt, um jede Berührung zwischen dem Kochsalzton und den Stahlspitzen auszuschließen. Der Kochsalzton wird in der Form von langen Würstchen geknetet, in den Zylinder hineingesetzt und dessen Spitze nach vorn gebogen und ihr die für den augenblicklichen Versuchszweck nötige Form gegeben (*B*). In den Ton wird ein unten mit Goldschlägerhaut abgeschlossenes Glasrohr hineingeführt und mittels einer Pipette mit der Zinksulfatlösung zur Hälfte gefüllt; in diese wird nun das Zinkblech *C* hineingeführt; dessen äußeres Ende ist etwas breiter als der übrige Teil des Bleches, so daß dasselbe nur bis zu einer gewissen Tiefe in das Glasrohr gelangen kann; an dieses ist ein Leitungsdraht festgelötet und die Lötstelle mit dickem Firnis überzogen. Nach Ende des Versuches nimmt man das Glasrohr fort und verwahrt es in einem Gefäß mit konzentrierter Zinksulfatlösung. Der Kochsalzton darf in dem Trog bleiben; wenn er getrocknet ist, kann er ohne Schwierigkeit herausgenommen werden. Für jeden Versuch muß neuer Kochsalzton benutzt werden, weil die Zinksulfatlösung allmählich in den Ton eindringt.



Figur 210. Unpolarisierbare Elektrode.

Bei scharf lokalisierter Reizung wird der Strom dem Nerven durch fettfreie Wollfäden oder Streifen aus Filtrierpapier, welche mit Kochsalzlösung durchtränkt sind und mit dem einen Ende an den Kochsalzton der Elektroden befestigt werden, zugeführt.

Bei Versuchen, wo der Muskel direkt gereizt werden soll, wird der

Muskel an den Stellen, wo der Strom ihm zugeführt wird, mit fettfreien, in 0.6 prozentige Kochsalzlösung getränkten und an den unpolarisierbaren Elektroden befestigten Wollfäden umbunden (Seilelektroden).

Wo man keine unpolarisierbaren Elektroden braucht, leitet man den Strom in der Weise zum Muskel, daß der eine Leitungsdraht mit dem Femur verbunden wird; der zweite Leitungsdraht steht mit einem sehr dünnen Kupferdraht, der um die Sehne des Muskels gewickelt wird, in Verbindung.

4. Versuche über die Einwirkung von Induktionsströmen auf den Nerven.

a) Die verschiedene Wirkung von Schließungs- und Öffnungsinduktionsschlägen läßt sich in folgender Weise leicht nachweisen. Man reizt den Nerven jede 3. oder 5. oder 10. Sekunde, indem man in dem festgestellten Intervall den primären Strom schließt und öffnet; dabei soll natürlich keine Abblendung stattfinden. Man fängt bei großem Abstand, etwa 25 cm, zwischen den Induktionsrollen an und nähert die sekundäre Rolle zentimeterweise der primären, indem man für jede Entfernung die Wirkung des Schließungs- und des Öffnungsinduktionsstromes prüft. Man kann sich dabei unschwer davon überzeugen, daß der Öffnungsinduktionsstrom starke Zuckungen bei einem Rollenabstand hervorruft, wo der Schließungsinduktionsstrom noch ganz unwirksam ist. Der Unterschied stellt sich bei Anwendung von Eisenkernen in der primären Rolle noch schärfer dar.

Daß der betreffende Unterschied nicht von der verschiedenen Richtung des Schließungs- und Öffnungsinduktionsstromes im Nerven herrührt, wird dadurch nachgewiesen, daß genau dieselben Erscheinungen auftreten, wenn man den Versuch bei veränderter Richtung des primären Stromes wiederholt.

Bei diesen Versuchen ist es angezeigt, den Registrierzylinder nur ganz langsam gehen zu lassen.

b) Die Wirkung des Schließungsinduktionsstromes bei verschiedener Richtung des Stromes im Nerven. Ein elektrischer, durch den Nerven gehender Strom wird als aufsteigend bezeichnet, wenn sein positiver Pol näher dem Muskel, sein negativer Pol näher dem Rückenmark angelegt wird, und als absteigend, wenn der positive Pol näher dem Rückenmark und der negative Pol näher dem Muskel liegt.

Nun zeigt die Erfahrung, daß Schließungsinduktionsströme bei Veränderung ihrer Intensität ganz verschiedene Resultate ergeben, je nachdem sie in aufsteigender oder absteigender Richtung durch den Nerven geleitet werden.

Bei Versuchen hierüber muß man natürlich die Richtung der Induktionsströme kennen; über die Art und Weise, wie diese bestimmt wird, vgl. oben Seite 35.

Man ordnet nun den Versuch so an, daß die Öffnungsinduktionsschläge abgeblendet werden und der Nerv also nur von Schließungsinduktionsströmen getroffen wird, und beginnt die Reizung bei großem Rollenabstand und aufsteigender Stromrichtung. Der Registrierzylinder soll sich hierbei nur ganz langsam bewegen. Man reizt den Nerven jede 2. oder 3. Sekunde und verschiebt die sekundäre Rolle nach jeder Reizung um 1 cm gegen die primäre.

Man findet dann, wie die Zuckungen im Beginn an Höhe zunehmen, bald aber anfangen, wieder abzunehmen., und endlich ganz aufhören (die sogen. Lücke), um bei weiterer Annäherung der sekundären Rolle zu der primären wieder zu erscheinen und von nun an bis zu einer gewissen Grenze stetig höher zu werden. Wenn man endlich bei übereinander geschobenen Rollen den Nerven im gegebenen Rhythmus fortfahrend reizt, so kann man noch nachweisen, daß die Zuckungen einen neuen Anstieg zeigen und übermaximal werden.

Die „Lücke“ bleibt weg, wenn man in genau derselben Weise, aber bei absteigender Stromrichtung den Versuch wiederholt. Ebenso läßt sie sich nicht bei Öffnungsinduktionsströmen, gleichgültig von welcher Richtung, nachweisen.

c) Reizstärke und Zuckungshöhe. Um den Einfluß der Reizstärke auf die Größe der Muskelzuckung näher zu studieren, reizt man a) den Nerven und b) den Muskel selbst, in letzterem Falle, nachdem man den Frosch mit ein paar Tropfen einer schwachen Kurarelösung vergiftet hat, um die motorischen Nervenendigungen zu lähmen. Bei diesen Versuchen ist es zweckmäßig, die Stärke des Induktionsstromes nicht durch Veränderung des Rollenabstandes, sondern mittels eines als Nebenschließung in die primäre Strombahn eingeschalteten Rheochordes zu variieren, weil man in dieser Weise den Reiz viel feiner abzustufen vermag (vgl. S. 34). Die Reizung soll etwa jede 8. oder 10. Sekunde unter Abblendung des nichterwünschten Induktionsschlages stattfinden. Der Registrierzylinder soll auch hier nur langsam bewegt werden.

B. Die Reizung mit dem konstanten Strom.[1]

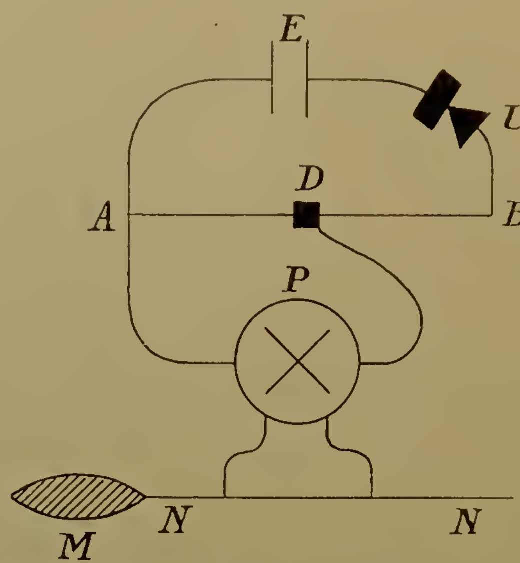
1. Allgemeine Anordnung der Versuche.

Um die Stärke des durch den Nerven gehenden Stromzweiges zu verändern, verfährt man nach dem Prinzip der Nebenschließung (vgl. oben S. 30). Zu diesem Zwecke verbindet man die galvanische Batterie (die Starkstromleitung wird hier nicht gebraucht) mit den beiden Enden eines

[1]) Es empfiehlt sich, diese Versuche auch an Menschen auszuführen; in bezug auf die dabei zu benutzenden Methoden und Apparate sei auf die Lehrbücher der Elektrodiagnostik verwiesen.

einsaitigen Rheochordes (*AB*, Fig. 211) und zweigt davon in der aus der Figur ersichtlichen Weise einen Stromast zum Nerven ab. Wenn der Widerstand in der Nebenschließung *AD* im Verhältnis zu dem in der Stammleitung und dem abgeleiteten Zweig gering ist, so ist die Stromstärke im letzteren proportional der Entfernung zwischen *A* und *D*.

Da sich die Wirkung des konstanten Stromes sehr verschieden gestaltet, je nachdem der Strom im Nerven auf- oder absteigend ist, muß



Figur 211. Versuchsanordnung bei Reizung mit dem konstanten Strome. *E*, Element; *U*, Unterbrecher; *AB*, Rheochord; *D*, der Rheochordläufer; *P*, Pohlsche Wippe; *NN*, der Nerv; *M*, der Muskel.

in die Leitung noch ein Stromwender (s. oben S. 39) eingeschaltet werden. Um die Batterie nicht übermäßig anzustrengen, empfiehlt es sich, den Unterbrecher in der Leitung von der Batterie zum Rheochord anzubringen (vgl. Fig. 211).

Bei der Einschaltung eines sehr großen Widerstandes im Nervenkreis muß man indessen, um Ladungserscheinungen zu vermeiden, die Schließung des Stromes zwischen Widerstand und Präparat vornehmen.

2. Versuche über die Einwirkung des konstanten Stromes auf den Nerven und Muskel.

a) Einschleichen des Stromes. Nachdem die Versuchsanordnung aufgestellt und das Präparat fertig ist, wird der Läufer des Rheochordes auf Null gestellt und der Strom geschlossen. Nun führt man den Läufer äußerst langsam von Null nach außen, so daß die Stärke des durch den Nerven gehenden Stromzweiges immer mehr zunimmt. Wenn der Läuferkontakt sicher funktioniert, so daß keine unbeabsichtigte Unterbrechung des Stromes stattfindet, kann man den Läufer bis zum anderen Ende der Saite führen, ohne daß eine Muskelzuckung erscheint. Und wenn man dann in derselben Weise den Läufer zurückführt, kann man ihn auf Null bringen, ohne eine Muskelzuckung hervorzurufen.

Der Strom wird dann durch Öffnen des Unterbrechers abgestellt. Bringt man nun den Läufer in einige Entfernung, z. B. 10 cm, vom Nullpunkt und schließt den Strom, so tritt eine starke Muskelzuckung auf; desgleichen, wenn der Strom plötzlich geöffnet wird.

b) Pflügers Zuckungsgesetz. Man reizt den Nerven bei einem ganz kurzen Abstand zwischen dem Läufer und dem Nullpunkt des Rheochordes, indem man den Strom mittels des Unterbrechers schließt. Wenn eine Zuckung erscheint, verschiebt man den Registrierzylinder um etwa 1 mm und öffnet den Strom. Man verschiebt den Zylinder wieder um 1 mm, kehrt durch Umlegen des Stromwenders den Strom um und untersucht wie vorher die Wirkung von Schließung und Öffnung des Stromes. Und so fährt man fort, indem man durch Verschiebung des Läufers immer stärkere Stromzweige durch den Nerven gehen läßt und bei jeder Stellung des Läufers die Wirkung der Schließung und Öffnung des Stromes in aufsteigender und absteigender Richtung prüft.

Bis man zu der Stufe der Reizstärke gelangt, bei welcher in beiden Stromrichtungen sowohl bei Schließung als bei Öffnung eine Kontraktion erscheint, soll man nur ziemlich langsam die Stärke des Reizes erhöhen. Nachdem aber diese Stufe erreicht worden ist, kann man mit einemmal den Läufer zum anderen Ende des Rheochordes schieben, um die reizende Wirkung des „starken Stromes“ zu untersuchen. In der Regel ist indessen die solcher Art erhaltene Stromstärke lange nicht genügend, um die Reaktion für den starken Strom hervorzurufen, sondern man muß zu diesem Zwecke den ganzen Strom mehrerer Elemente durch den Nerven gehen lassen.

Das normale Resultat ist dann folgendes:

		aufsteigender Strom	absteigender Strom
Stufe I	Schließung	Zuckung	Zuckung
	Öffnung	Ruhe	Ruhe
Stufe II	Schließung	Zuckung	Zuckung
	Öffnung	Zuckung	Zuckung
Stufe III	Schließung	Ruhe	Zuckung
	Öffnung	Zuckung	Ruhe oder schwache Zuckung.

Im allgemeinen erhält man bei Reizung des Nerven mit einem konstanten Strom keine Dauerverkürzung beim Muskel, sondern nur eine einfache Zuckung. Unter Umständen, wie bei trocknendem Nerven oder bei Nerven von Fröschen, die kurz vorher vom Eisschrank geholt wurden, treten indessen während der ganzen Zeit des Stromschlusses unregelmäßige Kontraktionen im Muskel auf.

c) Die Öffnungszuckung. Wie aus dem sub b Ausgeführten hervorgeht, erscheint die Öffnungszuckung beim Öffnen des Stromes nur bei einer größeren Stromstärke als der, bei welcher die Schließungszuckung

auftritt. Hierbei übt auch die Dauer des Stromschlusses einen sehr großen Einfluß aus. Wenn ein ziemlich schwacher, konstanter Strom z. B. nur 1—2 Sekunden lang geschlossen ist, so bleibt die Öffnungszuckung aus. Es kann aber stattfinden, daß derselbe Strom, bei unveränderter Stärke, eine ganz bedeutende Öffnungszuckung hervorruft, wenn er 10 oder 20 oder 30 Sekunden lang geschlossen bleibt.

Um diese Abhängigkeit der Öffnungszuckung von der Schließungsdauer nachzuweisen, soll man daher die Lage der Rheochordläufer aufsuchen, bei welcher die Öffnungszuckung nach 5 Sekunden langer Schließungsdauer erscheint, und dann durch Verschiebung des Läufers gegen Null die Stromstärke so viel vermindern, daß keine Öffnungszuckung nach 5 Sekunden langem Stromschluß auftritt: dann zeigt sie sich indessen, wenn die Dauer des Stromschlusses auf 10 oder mehrere Sekunden verlängert wird. Ist nun die Öffnungszuckung einmal erschienen, so tritt sie bei der betreffenden Stromstärke auch bei kürzerer Schließungsdauer auf, vorausgesetzt, daß der Strom bald nach der Öffnung wieder geschlossen wird.

Bei diesen Versuchen empfiehlt es sich, durch ein elektrisches, in der Leitung von der Batterie zum Rheochord einzuschaltendes Signal die Momente des Stromschlusses und der Stromöffnung an der Kurve anzugeben.

d) Reizung des Muskels mit dem konstanten Strom. An den entgegengesetzten Rändern eines in der Mitte in Längsrichtung gespaltenen und mittels einer Pinzette an einem Stativ aufgehängten parallelfaserigen Muskels (Sartorius) werden die Elektroden angelegt. Bei mittlerer Stromstärke zuckt der Muskel bei Schließung des Stromes nur mit seiner dem negativen Pol zugekehrten Hälfte, beim Öffnen des Stromes nur mit der entgegengesetzten Hälfte.

Beim nicht gespaltenen Muskel krümmt sich der Muskel beim Schluß des Stromes nach der Seite des negativen Poles, bei der Öffnung nach der Seite des positiven Poles.

Diese Erscheinungen sind davon bedingt, daß der elektrische Strom beim Schließen nur an seinem negativen, und beim Öffnen nur an seinem positiven Pol reizend wirkt.

e) Die durch den konstanten Strom in den Nerven hervorgerufenen Veränderungen der Erregbarkeit. Um überhaupt die durch irgendwelche Mittel hervorgerufenen Erregbarkeitsveränderungen zu untersuchen, soll man, wenn möglich, den Versuch so anordnen, daß die unter der Einwirkung des betreffenden Mittels erhaltene Muskelzuckung oder Reihe von Muskelzuckungen zwischen einer unmittelbar vorhergehenden und einer unmittelbar nachfolgenden Muskelzuckung oder Reihe von Muskelzuckungen, welche unabhängig von diesem Mittel erhalten werden, eingeschaltet wird.

Dies kann entweder in der Weise geschehen, daß man die ganze Zeit hindurch einen Reiz von konstanter Stärke benutzt und die Veränderungen der Nervenerregbarkeit aus den Veränderungen in der Größe der Muskel-

zuckungen beurteilt, oder auch so, daß man vor, während und nach der Einwirkung des betreffenden Variabels die minimale Reizstärke aufsucht, die gerade genügt, um Muskelzuckungen hervorzubringen. Die erste Methode ist viel einfacher als die andere und beansprucht viel weniger Zeit, was sie besonders für das Praktikum sehr empfehlenswert macht. Nur muß man hier, wie selbstverständlich, eine solche Stärke des Reizes wählen, daß die Zuckungen durch den Prüfungsreiz allein nicht schon maximal sind.

Man macht daher den Versuch im allgemeinen folgendermaßen. Man sucht die geeignete Stärke des Reizes auf, reizt den Nerv damit in einem gewissen Rhythmus, jede 2. oder 5. Sekunde, bei langsam bewegtem Zylinder, und läßt den Muskel solcherart 5—6 Kontraktionen ausführen; dann schaltet man, während die Reizung wie vorher stattfindet, das zu prüfende Agens ein, reizt wieder im gegebenen Rhythmus 5—6 mal, entfernt das Agens und beobachtet, bei immer fortgesetzter Reizung, wie sich die Kontraktionen der Muskeln jetzt verhalten.

Um speziell die durch den konstanten Strom in den Nerven hervorgerufenen Veränderungen der Erregbarkeit zu untersuchen, leitet man den konstanten Strom in der schon erwähnten Weise mittels unpolarisierbarer Elektroden zu dem Nerven, und führt zu ihm zwischen den Elektroden des konstanten Stroms und dem Muskel noch ein paar Platinelektroden hin für die Reizung mit dem Induktionsstrom, wie schon oben beschrieben wurde.

Nur bei ziemlich langen Nerven finden unpolarisierbare Elektroden auch für den Induktionsstrom genügenden Raum.

Dann fängt man mit der Reizung mittels des Induktionsstromes an. Nachdem einige Zuckungen mittlerer Größe registriert worden sind, schließt man den konstanten Strom, schreibt einige Kontraktionen wieder, öffnet den Strom und setzt die Induktionsreizung noch einige Zeit fort.

Dann läßt man den Nerv eine Zeitlang ruhen, kehrt die Richtung des konstanten Stromes um und fängt mit der Reizung wieder an.

In dieser Weise untersucht man also, wie sich die Erregbarkeit in der Strecke zwischen dem konstanten Strom und dem Muskel verändert, je nachdem die Anode oder die Kathode des konstanten Stromes der mit dem Induktionsstrom gereizten Stelle näher ist.

Ferner soll man auch auf die nach der Öffnung des konstanten Stromes etwa auftretenden Veränderungen der Zuckungshöhen, sowie auf die Erregbarkeitsveränderungen bei verschiedener Stärke des konstanten Stromes acht geben.

C. Die Summation von Reizungen.

Um die Einwirkung zweier dicht aufeinander folgender Reizungen untersuchen zu können, muß man den Versuch so anordnen, daß zwei Kontakte, welche je einen Induktionsstrom auslösen, schnell nacheinander und in abstufbaren Intervallen unterbrochen werden können.

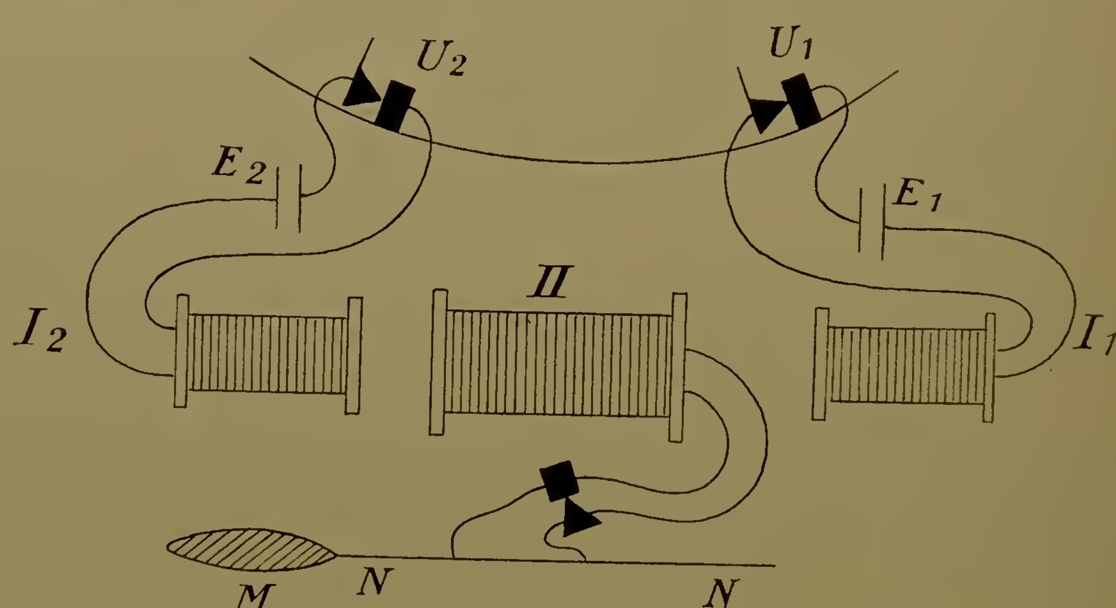
Zu diesem Zwecke braucht man teils einen Zylinder, der einigermaßen gleichmäßig rotiert, so daß die untereinander zu vergleichenden Kurven bei etwa derselben Geschwindigkeit des Zylinders geschrieben werden können, teils eine Kontaktvorrichtung, durch welche das zeitliche Intervall zwischen den beiden Reizen innerhalb genügend weiter Grenzen nach Belieben variiert werden kann.



Figur 212. Kontaktpendel, nach Wundt.

Hierzu eignet sich am besten ein Pendel, etwa von dem in Figur 212 dargestellten Aussehen. Dem doppelarmigen, um seine Mittelachse schwingenden Pendel kann durch Verstellen der beiderseitigen Laufgewichte *G* verschiedene Schwingungsdauer gegeben werden. Rechts durch den Elektromagneten *E* und nach vollendeter Schwingung durch den Fänger *F* gehalten, öffnet es bei seiner Schwingung die an einer Teilung verstellbaren Kontakte *C*, *C*.

Zur Reizung werden Öffnungsinduktionsströme benutzt; da die beiden Kontakte vor Beginn des Versuchs geschlossen werden sollen, kann man den bei deren Schließung entstehenden Induktionsschlag einfach mit der Hand abblenden.



Figur 213. Versuchsanordnung zum Studium der Summation.

Die Versuchsanordnung gestaltet sich daher in der Weise, daß jeder Kontakt (U_1, U_2) mit einer primären Induktionsrolle (I_1, I_2) in Verbindung steht. Diese beeinflussen alle beide eine und dieselbe sekundäre Rolle (*II*), von welcher der Strom unter Vermittlung eines Unterbrechers nach dem Nerven (*NN*) geleitet wird (vgl. Fig. 213).

Man schreibt zuerst eine einfache Muskelkurve mit dem ersten Kontakt allein, und dann eine einfache Muskelkurve mit dem zweiten Kontakt allein, und weiß also genau, wie groß die durch die betreffenden Einzelreize ausgelösten Zuckungen sind. Dann erst läßt man die beiden Ströme sich summieren und wiederholt den Versuch einigemal, indem man die Kontakte gegeneinander verschiebt und also den zweiten Reiz immer mehr von dem ersten entfernt. Im Beginn des Versuches sollen die Kontakte ganz nahe aneinander stehen.

In einfacherer Weise kann man die Summationserscheinungen dadurch nachweisen, daß man an der Achse des Registrierzylinders zwei gegeneinander verschiebbare Arme anbringt, welche mit je einer Flachfeder endigen. Diese Federn stehen mit dem einen Leitungsdraht zur primären Rolle in Verbindung. Der zweite Leitungsdraht ist mit einer an der Bodenplatte des Registrierapparats befestigten Schneide verbunden. Jedesmal, wenn eine der Flachfedern diese Schneide passiert, wird der Strom zur primären Rolle geschlossen und unmittelbar nachher geöffnet. Man stellt die sekundäre Rolle auf eine solche Entfernung von der primären, daß nur der Öffnungsinduktionsschlag wirksam ist, und kann dann durch gegenseitige Verschiebung der Flachfedern bei einigermaßen gleichförmigem Gang des Zylinders die Wirkung der Reizsummation studieren.

Wenn mehrere Reizungen schnell nacheinander folgen, so addiert sich die Wirkung der 2. zur 1., die der 3. zur 2. usw., und es entsteht solcherart eine immer höhere Kontraktion. Bei genügend kurzem Intervall hat der Muskel nicht mehr die Zeit, zwischen zwei Reizungen zu erschlaffen, die Kurve steigt daher stetig in die Höhe, ohne jedes Anzeichen der diskontinuierlichen Reizung zu zeigen. Am einfachsten läßt sich diese Tatsache dadurch nachweisen, daß man die Feder am Induktionsapparate frei schwingen läßt. Dabei empfiehlt es sich, die Schwingungszahl der Feder durch Verstellen der Schraube *f* (Fig. 33) zu variieren. Größere Variationen der Frequenz können dadurch erhalten werden, daß man die Feder mit einem Metallstift verlängert und an diesem in verschiedener Entfernung ein Gewicht befestigt.

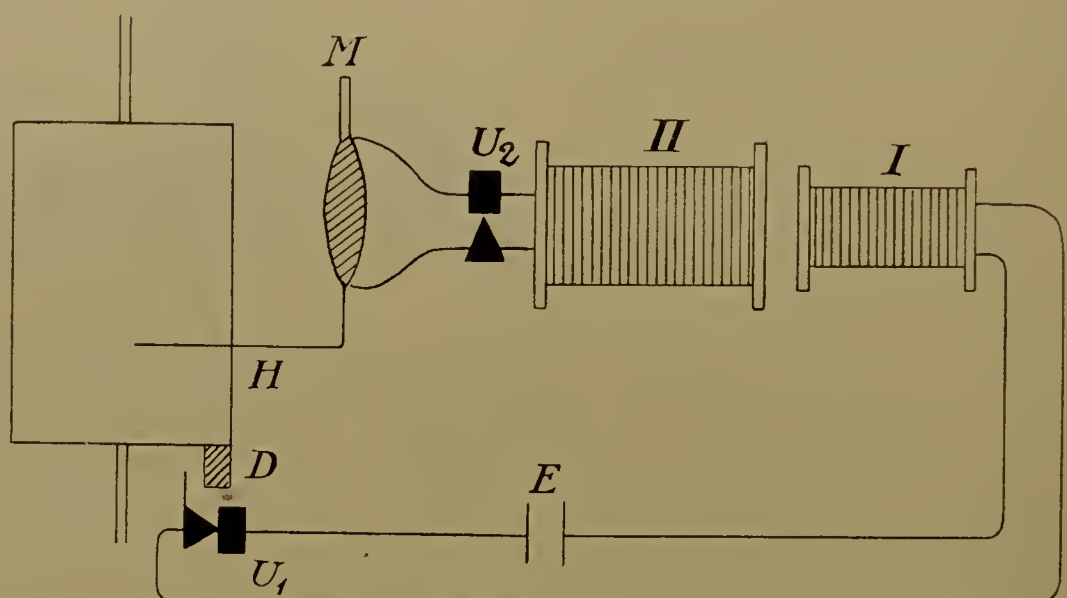
D. Die chemische Reizung des Muskels.

Präpariert man sorgfältig und womöglich bei niedriger Temperatur den Sartorius eines vorher mit Kurare vergifteten und mehrere Stunden im Kalten aufbewahrten Frosches und taucht ihn in eine Lösung von 0.5 Proz. NaCl, 0.2 Proz. Na_2HPO_4 und 0.04—0.05 Proz. Na_2CO_3 bei etwa 3—10° C, so beobachtet man in der Regel, nach einer kürzeren oder längeren Zeit der Ruhe, wie der Muskel beginnt, eine rhythmische Tätigkeit zu entfalten (Biedermann).

III. Die Latenzdauer der Muskelzuckung und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven.

A. Die Latenzdauer der Muskelzuckung.

Um die Latenzdauer der Muskelzuckung, d. h. die Zeit, die zwischen dem Augenblick der Reizung und dem Anfang der Muskelverkürzung verstreicht, zu bestimmen, muß man an einem mit genügender Geschwindigkeit bewegten Registrierapparat 1. den Moment der Reizung und 2. den Zeitpunkt, wo sich die Muskelzuckung von der Abzisse erhebt, angeben können.



Figur 214. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Latenzdauer der Muskelzuckung. *E*, Element; *D*, Dorn am Registrierzylinder; U_1, Unterbrecher in der primären Strombahn; *H*, Muskelhebel.

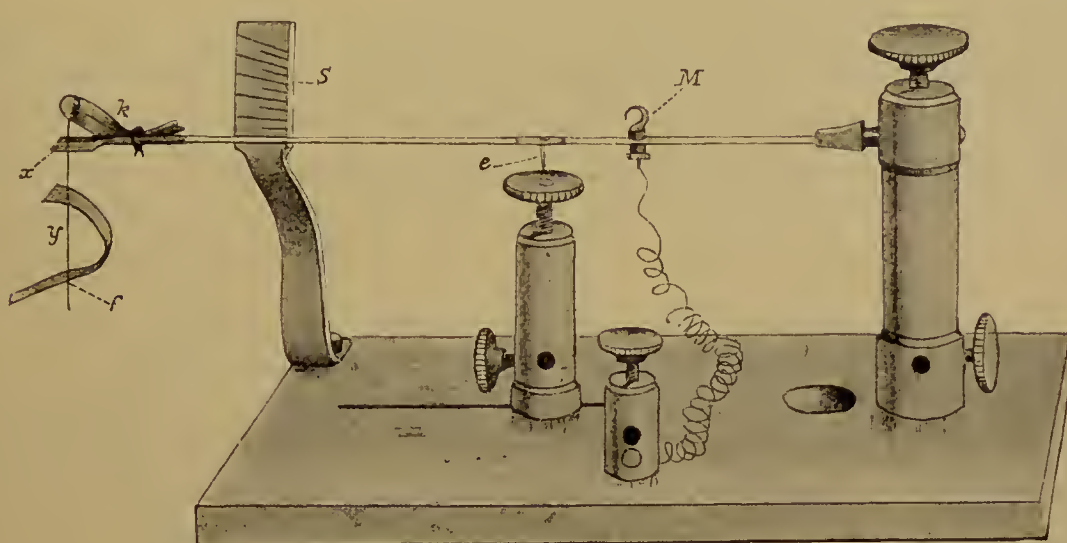
Als Reiz wird in der Regel ein Öffnungsinduktionsschlag benutzt und der Schließungsinduktionsschlag in oben angegebener Weise abgeblendet; da nun der Induktionsstrom bei der Öffnung des Stromes in der primären Strombahn ohne Zeitverlust erscheint, besteht die erste Aufgabe also darin, am Registrierzylinder den Moment der Unterbrechung des primären Stromes anzugeben.

An mehreren Registrierapparaten findet sich ein Stromunterbrecher, der bei einer ganz bestimmten Lage des Zylinders durch einen an ihm befestigten Dorn unterbrochen wird. Gleichgültig, ob sich der Zylinder schnell oder langsam bewegt, findet die Unterbrechung immer an dieser Stelle des Zylinders statt. Diese Vorrichtung kann auch so arrangiert werden, daß der Dorn nur dann den Kontakt unterbricht, wenn dieser gegen ihn geschoben wird: in diesem Falle kann der Zylinder mehrere Touren machen, ohne daß der Kontakt unterbrochen wird, und es hängt also vollständig vom Experimentator ab, wann die Unterbrechung erfolgen soll.

Man bringt nun diesen Unterbrecher (Fig. 214, U_1) in der Leitung zur primären Rolle eines Induktoriums und setzt den Zylinder in Gang; wenn der Dorn *D* den Kontakt passiert, wird der Strom geöffnet, ein Öffnungsinduktionsschlag im selben Moment ausgelöst und der Muskel gereizt. Der Muskel schreibt seine Kontraktionskurve auf den Zylinder.

Um den Augenblick der Reizung anzugeben, schließt man den Kontakt und führt den Zylinder äußerst langsam gegen ihn, bis der Strom durch den Dorn am Zylinder geöffnet wird; der Muskel wird hierbei gereizt und schreibt an dem jetzt fast stillstehenden Zylinder eine vertikale Linie, welche den Augenblick der Reizung angibt.

Man braucht also nur die Entfernung zwischen dieser Linie und dem Beginn des aufsteigenden Schenkels der Muskelkurve zu messen, um die Latenzdauer bei bekannter Geschwindigkeit der Registrierfläche zu bestimmen.



Figur 215. Kontakthebel.

Hier stoßen wir indessen auf eine Schwierigkeit: die Muskelkurve erhebt sich in ihrem Anfange äußerst langsam von der Abszisse, so daß es sehr schwierig ist, genau anzugeben, wo die Latenz dann eigentlich endet.

Zum Teil kann man sich dadurch helfen, daß man nach Ende jeder Kontraktion am Zylinder eine Linie ein klein wenig über und eine andere ein klein wenig unter der Abszisse zieht, indem man nach entsprechender Verschiebung des Zylinders die Schreibspitze des Muskelhebels diese Linien zeichnen läßt. Dann kann man leichter angeben, wo die von dem Muskel gezeichnete Kurve sich von der Abszisse zu erheben beginnt.

Ganz sichere Resultate lassen sich indessen auch nicht mit diesem Kunstgriff erreichen, und wenn es gilt, genauere Bestimmungen auszuführen, empfiehlt sich daher folgendes Verfahren.

Am Muskelhebel (Fig. 215) wird ein Platindraht *c* befestigt, welcher in leitender Verbindung mit einer Batterie steht. Gerade unter diesem Draht ist an der Bodenfläche des Apparates ein Pfeiler angebracht; dieser trägt eine fein gearbeitete Schraube mit platinierter Oberfläche. Vom

Pfeiler geht der Strom weiter durch ein elektrisches Signal, der an dem Registrierzylinder schreibt.

Nach Einsetzung des Muskels in die feuchte Kammer usw. wird die Schraube langsam bewegt, bis der Kontakt zwischen dem Platindraht und der Schraube hergestellt ist. Die geringste Verkürzung des Muskels öffnet nun den Kontakt, und das Signal gibt diesen Moment auf der Schreibfläche an.

Die Zahlen, welche man nach dieser Methode für die Latenzdauer bekommt, sind wesentlich niedriger als diejenigen, die sich aus der direkten Ausmessung der Muskelkurve ergeben.

Hierbei ist noch zu bemerken, daß das Signal selber nicht ohne Zeitverlust bewegt wird. Man muß daher auch die eigene „Latenzdauer" des Signals bestimmen, was in ganz derselben Weise wie die Bestimmung der Latenzdauer der Muskelzuckung stattfindet.

Man läßt also das Signal an einen Zylinder schreiben und führt die Leitung durch einen Unterbrecher so, daß der Strom durch den Dorn an einem gewissen Punkt der Zylinderperipherie geöffnet wird. Dann dreht man den Zylinder sehr langsam, bis der Kontakt geöffnet wird: das Signal schreibt jetzt eine vertikale Linie, die den Augenblick der Stromöffnung angibt. Nach Schließung des Kontaktes läßt man den Zylinder bei schnellem Gang den Strom unterbrechen. Die Signalkurve beginnt eine Zeit nach dieser Linie, die Entfernung gibt die eigene Latenzdauer des Signals an.

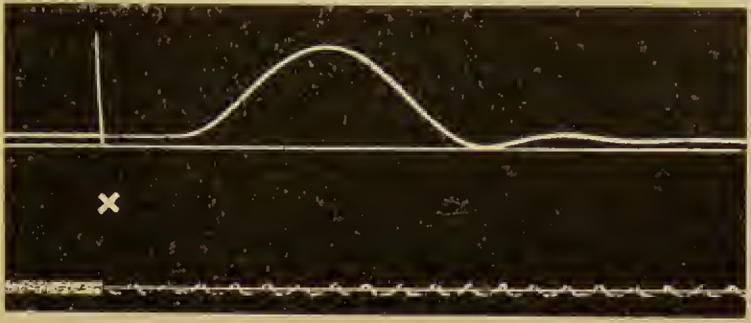
Um die Latenzdauer des Signals beim Stromschluß zu bestimmen, verfährt man in ganz gleicher Weise, nur benutzt man den Kontakt jetzt als Nebenschließung zum Signal; beim Öffnen dieser Nebenschließung wird der Strom zum Signal geschlossen.

Wenn man keinen am Registrierzylinder befestigten Stromunterbrecher zu seiner Verfügung hat, muß man, um den reizenden Öffnungsinduktionsschlag auszulösen, den primären Strom mittels eines gewöhnlichen Unterbrechers mit der Hand öffnen. Um in diesem Falle den Augenblick der Reizung zu markieren, schaltet man in die primäre Leitung ein elektrisches Signal ein, dessen eigene „Latenzdauer" dann, wie oben angegeben ist, berücksichtigt werden muß.

Die Geschwindigkeit des Registrierzylinders muß bei diesen Versuchen ziemlich groß sein: da die Latenzdauer der Muskelzuckung auf etwa 0.003 Sekunde herabsinken kann, ist eine Geschwindigkeit von 0.5—1 m nicht zu groß.

Nur in ganz wenigen Ausnahmefällen bewegt sich der Registrierzylinder mit einer solchen Genauigkeit, daß keine weitere Zeitbestimmung nötig wäre. Daher muß man in der Regel für jede Bestimmung eine Stimmgabelkurve unter der Muskelkurve zeichnen. Auch dies findet mit Hilfe eines elektrischen Signals statt, und zwar darf die Stimmgabel nicht früher angeschlagen werden, als die Linie gezeichnet ist, welche den Anfang der Reizung angibt. Dann führt man den Zylinder etwas zurück, schlägt die

Stimmgabel an und läßt den Zylinder wieder los. Bevor der Zylinder eine ganze Umdrehung vollendet hat, muß er angehalten werden, da sonst die Stimmgabelkurven sich verwischen (vgl. Fig. 216).



Figur 216. Latenzdauer der Muskelzuckung bei Reizung vom Nerven aus. ×, der Augenblick der Reizung. Die unterste Linie gibt die Zeit in $^1/_{100}$ Sekunden an.

Mittels dieser Methode kann man nun die Latenzdauer der Muskelzuckung bei verschieden starker Reizung, bei verschiedener Belastung, bei verschiedener Temperatur usw. bestimmen. Um den Einfluß der Nerven und Nervenendigungen zu vermeiden, vergiftet man den Frosch vor dem Versuch mit Kurare.

B. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven.

Diese wird in folgender Weise bestimmt.

An einem möglichst großen Frosch präpariert man den N. ischiadicus nebst dem M. gastrocnemius in der schon angegebenen Weise, befestigt den Muskel in gewöhnlicher Weise in der feuchten Kammer und verbindet ihn mit dem Schreibhebel. Der Nerv (Fig. 217 *NN*) wird über zwei Paare Platinelektroden gebrückt, die möglichst weit voneinander stehen und ihrerseits mit der sekundären Rolle eines Induktionsapparates verbunden sind.

Von der sekundären Rolle des Induktionsapparates (*II*) werden die Leitungsdrähte mit den mittleren Polschrauben einer Pohlschen Wippe *W*, deren Kreuz entfernt worden ist, verbunden. Von den anderen Polschrauben steht das eine Paar mit dem einen Elektrodenpaar, das andere Paar mit dem anderen Elektrodenpaar in Verbindung. Je nach der Stellung des Griffes wird also der Strom entweder zu der einen oder der anderen Reizstelle geleitet.

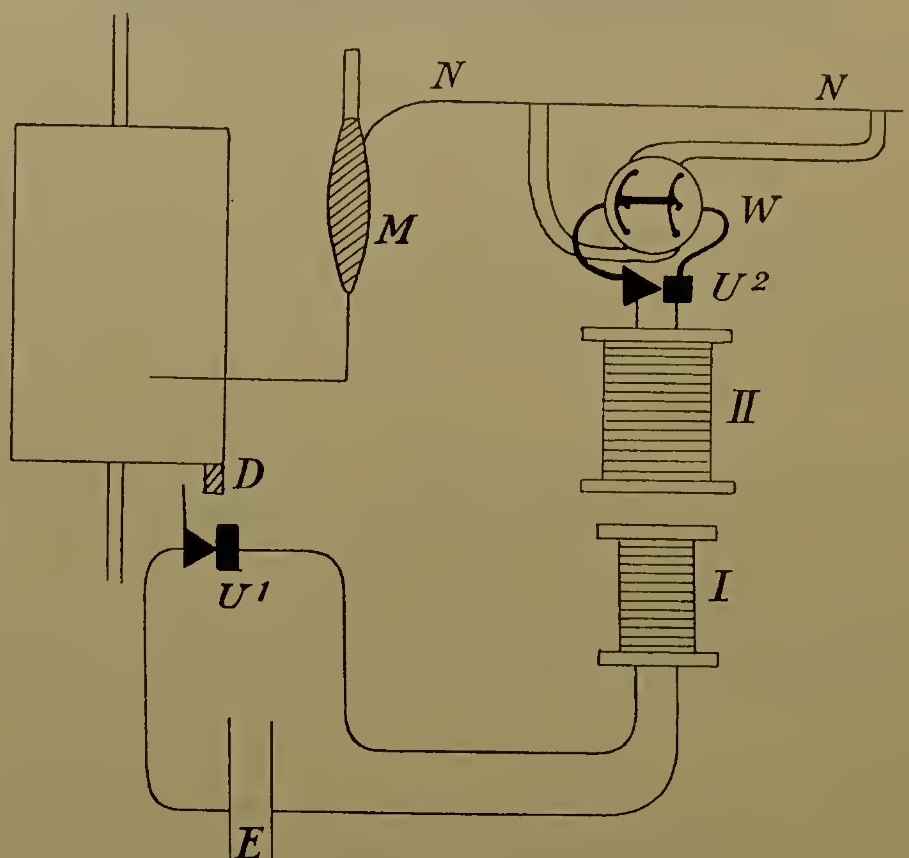
Die Reizung findet mittels absteigender Öffnungsinduktionsströme statt, und der Schließungsinduktionsschlag wird in gewöhnlicher Weise abgeblendet.

Der Reiz wird in derselben Weise wie bei der Bestimmung der Latenzdauer der Muskelzuckung ausgelöst (*D*, Dorn am Registrierzylinder; U^1, Unterbrecher).

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Zeit zwischen dem Moment der Reizung und dem Anfang der Muskelzuckung um so länger sein muß,

je weiter die gereizte Stelle des Nerven vom Muskel liegt; die Muskelzuckung muß also bei der Reizung von der näheren Nervenstelle *A* aus früher als bei der Reizung von der entfernteren *B* aus erscheinen, und die hier auftretende zeitliche Differenz muß von der Fortpflanzungsdauer der Erregung von der einen nach der anderen Stelle abhängig sein. Wenn diese x Sekunden und die Länge der Nervenstrecke y cm beträgt, so ist die pro Sekunde berechnete Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung gleich y/x cm.

Man hat also nur die Latenzdauer der Muskelzuckung bei Reizung von *A* und von *B* aus zu bestimmen. Dies findet genau in derselben



Figur 217. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven.

Weise wie die Bestimmung der Latenzdauer der Muskelzuckung bei direkter Reizung des Muskels statt. Auch hier muß die Geschwindigkeit des Registrierzylinders sehr groß sein und etwa 0.5 — 1 m pro Sekunde betragen.

Da man, wie oben bemerkt, bei derartigen Versuchen in der Regel mittels einer Stimmgabel die Zeit unterhalb der Muskelkurve angeben muß, wird jede einzelne Bestimmung am Zylinder besonders für sich registriert. Da nun die Latenzdauer der Muskelzuckung bei direkter Reizung des Muskels um so länger ist, je kleiner die Zuckung, darf man zur Bestimmung der Fortpflanzungszeit der Erregung nur Zuckungen gleichen Umfanges miteinander kombinieren, da sonst Fehler durch die eigene Latenzdauer des Muskels entstehen würden.

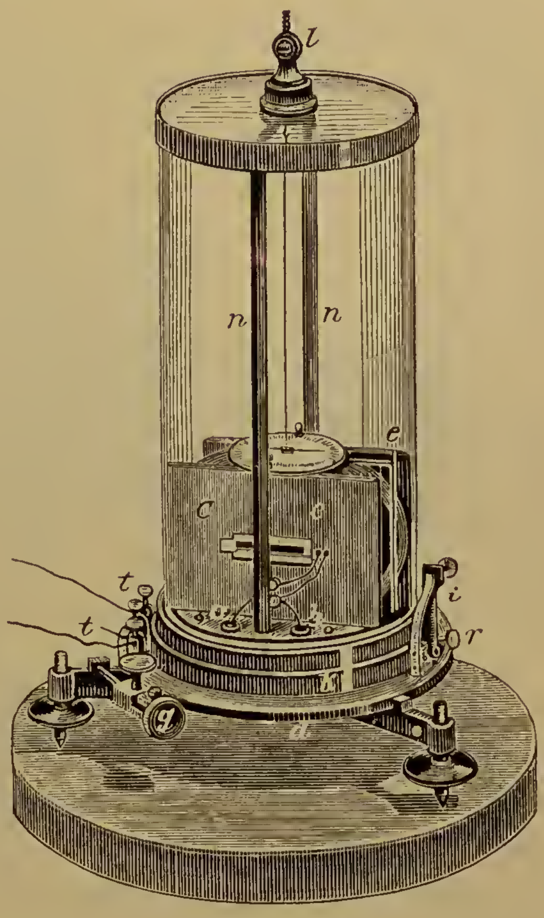
IV. Die elektrischen Erscheinungen bei den Nerven und Muskeln.

A. Methoden, um die tierisch-elektrischen Ströme nachzuweisen.

1. Der Multiplikator.

Gegenwärtig wird wohl der Multiplikator selten zu wissenschaftlichen Untersuchungen benutzt; da er indessen wahrscheinlich in den meisten physiologischen Instituten vorhanden ist und als Demonstrationsinstrument immer noch Verwendung finden kann, ist eine kurze Darstellung seines Baues hier angezeigt.

Der wichtigste Teil des Instrumentes (Fig. 218) ist das astatische Nadelpaar. Dieses besteht aus zwei parallelen, durch ein Stück Elfenbein untereinander verbundenen zylindrischen, scharf gespitzten Stahlnadeln, welche so magnetisiert sind, daß sie ihre ungleichnamigen Pole einander zukehren. Die obere Nadel ist etwas, wenn auch nur wenig stärker magnetisch als die untere, weil sonst, wenn der Magnetismus der beiden Nadeln genau gleichgroß wäre, das Nadelpaar keine Gleichgewichtslage hätte und von dem allerschwächsten Strom rund herum getrieben werden würde.



Figur 218. Multiplikator.

Die untere Nadel des Nadelpaares hängt innerhalb des mit feinstem Kupferdraht umwickelten Multiplikatorkastens *e*. Die Zahl der Drahtwindungen beträgt 20 000—36 000. Der Draht hat vier Enden, welche mit je einer Klemmschraube auf der Außenseite des Instrumentes verbunden sind. Je nach Bedarf kann man also sämtliche Windungen oder nur die halbe Anzahl davon benutzen.

Die obere Nadel spielt über einer Gradscheibe und ist mit einer langen und sehr feinen Spitze versehen.

Das Nadelpaar ist an einem Kokonfaden aufgehängt. Die Länge des Fadens wird durch die Schraube *l* reguliert.

Die Prüfung davon, daß die Astasie genügend weit getrieben worden ist, geschieht durch Bestimmung der Zeit, welche das aus dem Meridian gebrachte Nadelpaar nötig hat, um eine ganze Schwingung auszuführen. Je länger diese Zeit ist, um so vollständiger ist die Astasie; bei einer Schwingungsdauer von 30 Sekunden ist das System schon brauchbar.

Mit großer Sorgfalt muß darauf acht gegeben werden, daß das Nadelpaar genau im Zentrum der Rolle steht. Hängt es exzentrisch, so wird es durch den Strom mehr nach der einen als nach der andern Seite gezogen und gerät hierbei in pendelartige Schwingungen.

Übrigens behält das Nadelpaar nicht ohne weiteres seine Gleichgewichtslage, sondern schwingt hin und zurück.

Dies ist von dem Magnetismus des im Multiplikator benutzten Kupferdrahtes bedingt, da dieser nicht vollkommen eisenfrei erhalten werden konnte[1]. Dieser von dem Nadelpaar in den Draht induzierte Magnetismus ist am größten in der Richtung der Diagonalen des Multiplikatorrahmens, weil sich hier die größte Masse Draht findet. In der Mittellinie der Windungen befindet sich das Nadelpaar wegen der gleichen Stärke des in den beiden Hälften induzierten Magnetismus in labilem Gleichgewicht.

Die betreffende Störung würde ja dèn Multiplikator ganz unbrauchbar machen, wenn sie nicht kompensiert werden sollte. Zu diesem Zwecke stellt du Bois-Reymond vor dem Nullpunkt der Skala die 0.5 mm lange Spitze einer harten, stark magnetisierten Perlennadel in solcher Weise, daß sie gerade die Ablenkung der Drahtmassen aufhebt. Dieser Kompensationsmagnet kann durch die Schrauben *r* und *i* je nach dem Bedarf in verschiedene Richtung geschoben werden.

Nach einem längeren Gebrauch zeigen sich leichte Änderungen in der Gleichgewichtslage des astatischen Systems, welche von Änderungen im Magnetismus der Nadeln herrühren. Diese müssen deshalb von Zeit zu Zeit aufs neue magnetisiert werden. Oft genügt es indessen, durch Verschiebung des Kompensationsmagneten das Nadelpaar zum Nullpunkt zurückzuführen.

Der Multiplikator wird auf ein erschütterungsfreies Stativ bezw. eine in der Wand eingemauerte plane Marmorscheibe plaziert. Für seine Stellschrauben sind dort drei ausgehöhlte Messingscheiben angebracht und mit Paraffin festgesetzt. Mittels der Stellschrauben wird die Bodenplatte des Multiplikators horizontal eingestellt, das Nadelpaar wird mittels der Schraube *l* erhoben, so daß es frei schwingt, und endlich wird der Kasten mittels der Tangentialschraube *g* so gedreht, daß der Zeiger der oberen Nadel auf dem Nullpunkt steht.

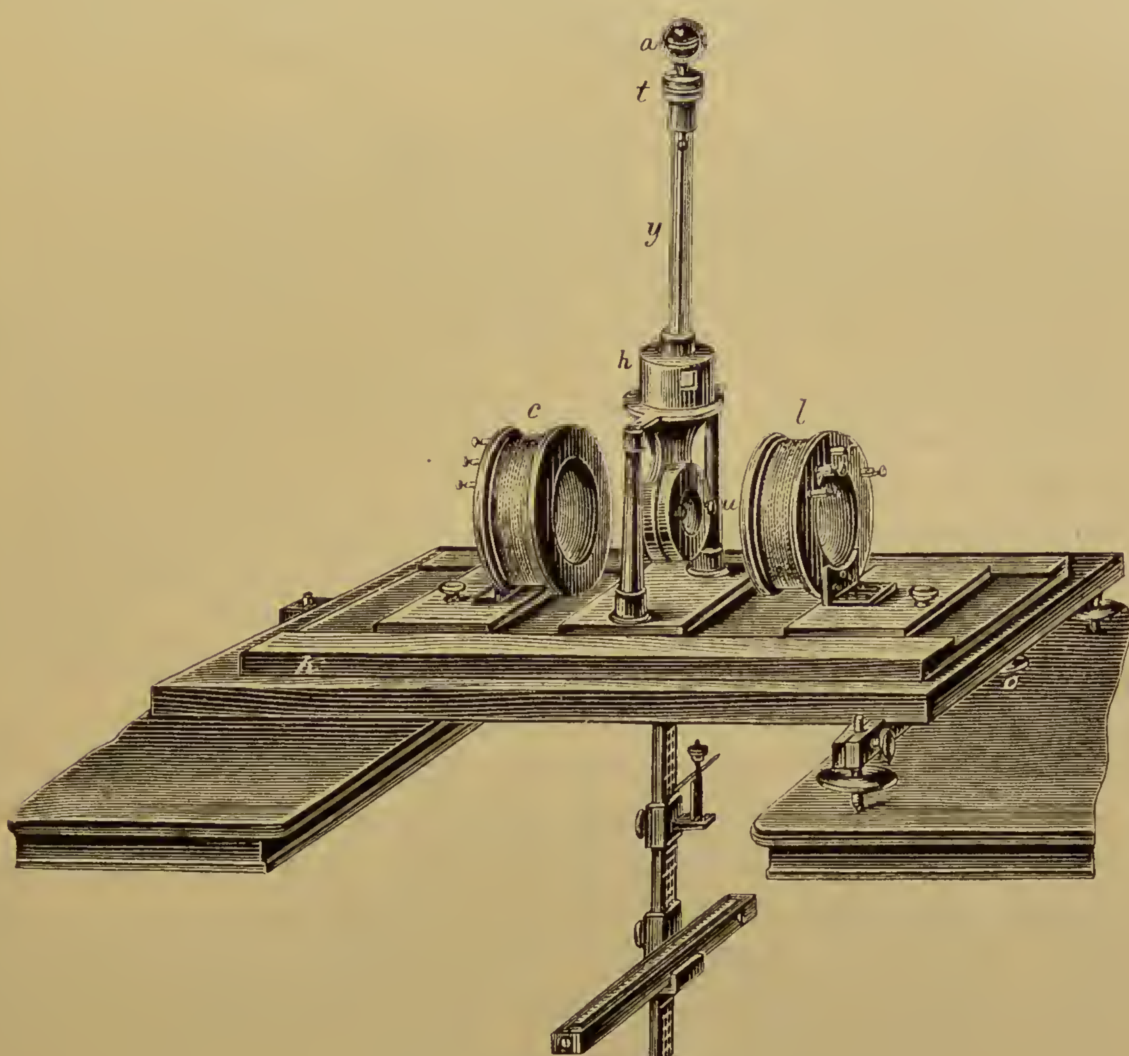
Bei der Anwendung des Multiplikators wie der des Galvanometers soll man es vermeiden, die Leitungsdrähte von der Stromquelle direkt mit dem Instrument zu vereinigen; vielmehr sollen diese Drähte mit Klemmschrauben am Stativ oder an der Marmorplatte und erst diese ihrerseits mit dem Multiplikator verbunden werden.

[1]) Nunmehr trifft dies nicht zu; da aber wahrscheinlich eine große Zahl der noch vorhandenen Multiplikatoren aus älterer Zeit herstammt, habe ich auch diesen Umstand erwähnen wollen.

2. Die Bussole von Wiedemann.

Unter den verschiedenen Galvanometerkonstruktionen sei hier in erster Linie die Bussole von Wiedemann erwähnt, weil sehr viele der grundlegenden Arbeiten innerhalb der Elektrophysiologie mit ihrer Hilfe ausgeführt worden sind.

Das Instrument (Fig. 219) ruht auf einer Bodenplatte, welche mittels dreier Stellschrauben horizontal gestellt werden kann. Auf dieser Bodenplatte sind die Rollen des Instrumentes verschiebbar. Zwischen diesen



Figur 219. Bussole, nach Wiedemann.

tragen zwei messingene Pfeiler eine dicke Kupferhülse *u*. In dieser ist der Magnet aufgehängt.

Der Magnet ist ringförmig und nur 1 mm dick. Mittels eines Stiftchens aus Schildpatt oder Aluminium ist er mit einem sehr leichten, um das Stiftchen drehbaren Spiegel verbunden. Das ganze System ist wie beim Multiplikator an einem Kokonfaden aufgehängt und kann mittels der Schraube *a* in vertikaler Richtung verschoben werden.

Eine drehbare Hülse aus Holz *h*, welche eine mit Glas geschlossene Öffnung hat, schützt den Spiegel gegen den Luftzug. Die Löcher in der Kupferhülse sind durch zwei Deckel geschlossen.

Je nach dem nachzuweisenden Strom braucht man Rollen mit vielen Windungen eines dünnen Drahtes oder wenigen Windungen eines dicken Drahtes, das erstere, wenn der übrige Widerstand in der Leitung sehr groß ist, das andere bei kleinem Widerstand bei der Stromquelle. Im ersten Falle werden Rollen mit 20000 und mehr Windungen eines 0.2 mm dicken Kupferdrahtes benutzt, im zweiten Rollen mit 80 Windungen eines 1 mm dicken Drahtes. Wie beim Multiplikator ist der Draht so gewickelt, daß je nach Bedarf sämtliche Windungen oder nur die Hälfte davon benutzt werden können. An den Rollen befindliche Pfeile geben die Art und Weise an, wie in verschiedenen Fällen die Rollen untereinander und mit den Leitungsdrähten von der Elektrizitätsquelle zu verbinden sind.

Die Empfindlichkeit des Galvanometers kann noch durch Annäherung oder Entfernung der Rollen von der Kupferhülse variiert werden.

Bei der Aufstellung des Galvanometers auf ein Stativ oder eine in der Wand festgesetzte Marmorplatte benutzt man ähnliche Unterlagen wie beim Multiplikator; die Bodenplatte muß genau horizontal gestellt werden. Der Magnetring stellt sich, wenn er frei beweglich ist, von selber in den Meridian; mittels der Schraube *a* wird er so genau wie möglich in der Mitte der Kupferhülse eingestellt.

Die Achsen der Drahtspulen müssen senkrecht gegen den magnetischen Meridian stehen. Dies bringt man dadurch zustande, daß man einen genügend schwachen Strom von konstanter Stärke einigemal in verschiedener Richtung durch den Galvanometer gehen läßt und das Instrument so lange dreht, bis die Ausschläge in jeder Richtung gleich groß sind.

Die Galvanometerausschläge werden mittels eines in 1 bis 3 m Entfernung vom Instrument aufgestellten Fernrohres abgelesen. Je größer die Entfernung zwischen Galvanometer und Fernrohr ist, um so größer ist natürlich, ceteris paribus, der bei einer und derselben Stromstärke erhaltene Ausschlag. Das Fernrohr trägt eine senkrecht gegen seine Achse befestigte horizontale Skala, die sich im Spiegel des Galvanometers spiegelt. Die Abweichung des Magneten wird durch den Teilstrich angegeben, der dabei mit dem Haarkreuz des Fernrohrs zusammenfällt.

Das Fernrohr wird von einem stellbaren Stativ getragen. Man stellt dieses nebst dem Fernrohr in der gewünschten Entfernung vom Galvanometer auf und verändert die Lage des Fernrohrs in vertikaler Richtung bis man beim Visieren längs dem Fernrohr sieht, wie sich die Skala im Spiegel des Galvanometers spiegelt. Dann dreht man den Galvanometerspiegel, bis beim Sehen durch das Fernrohr der Mittelpunkt der Skala etwa mit dem Haarkreuz zusammenfällt.

Bei dem Galvanometer ist die Tangente des Ablenkungswinkels proportional der Stromstärke; an der Skala liest man die Tangente des doppelten Ablenkungswinkels ab; bei Ausschlägen, die nicht zu groß sind, kann man indessen ohne Fehler annehmen, daß die Tangente des doppelten

Winkels gleich der doppelten Tangente für den Ablenkungswinkel ist. Dann ist die Stromstärke proportional der Größe des Ausschlages.

Die Skala wird mittels ein paar elektrischer Lampen beleuchtet, welche mit Schirmen versehen sind, so daß das Licht nicht ins Auge des Beobachters fällt.

Die Kupferhülse, von der der Magnetring umgeben ist, dient dazu, dessen Bewegungen zu dämpfen. Jedesmal wenn der Magnet nach einer Richtung schwingt, induziert er nämlich in der Hülse einen Strom, der bestrebt ist, ihn in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Hierdurch kommt der Magnet, ohne viele Schwingungen zu machen, bald in eine bestimmte Lage, was bei vielen Untersuchungen innerhalb der Elektrophysiologie sehr wichtig ist.

Die Empfindlichkeit des Galvanometers wird durch Astasierung des Magneten in hohem Grade unterstützt, und nur hierdurch wird dieses Instrument für die feinen Messungen anwendbar, die bei der Untersuchung über die elektrischen Eigenschaften der tierischen Gewebe in Betracht kommen.

Zu diesem Zwecke wird der Einfluß des Erdmagnetismus mittels eines feststehenden Magnetstabes, des Hauyschen Stabes, vermindert.

Dieser wird in dem magnetischen Meridian in solcher Weise aufgestellt, daß er dem Erdmagnetismus entgegenwirkt, d. h. dessen Nordpol soll nach Süden und der Südpol nach Norden gekehrt sein. Man bringt den Stab auf der Seite des Galvanometers oder unter ihm an.

Der Hauysche Stab ist in einem kleinen Holzkasten eingeschlossen und kann darin mittels einer Schraube um eine vertikale Achse verschoben werden, so daß er in die richtige Lage kommt. Man plaziert den Kasten mit dem Magneten auf der Marmorplatte bzw. dem Stativ möglichst in den magnetischen Meridian und so, daß die Mitte des Stabes mit der Fortsetzung der Achse der Galvanometerrollen zusammenfällt oder senkrecht unter ihn steht, und bringt ihn genügend nahe dem Galvanometer. Sodann fixiert man ihn in dieser Lage durch etwas geschmolzenes Paraffin, das um den Kasten gegossen wird. Die feinere Einstellung findet dann mittels der erwähnten Schraube statt. Hierbei ist es am besten, daß eine Person durch das Fernrohr das Galvanometer beobachtet, während eine andere Person die Lage des Stabes verändert, bis das Haarkreuz etwa mit dem Mittelpunkte der Skala zusammenfällt. Die Drehung der Schraube soll sehr langsam stattfinden, weil der Magnet selbst für sehr kleine Lageveränderungen des Stabes sehr empfindlich ist.

Zu gleicher Zeit ist nun auch das Galvanometer aperiodisch geworden, d. h. wenn ein Strom durch das Galvanometer geleitet wird, bleibt der Magnet sofort auf einem bestimmten Punkt stehen, ohne irgendwelche Schwingungen hin und zurück zu machen, und fällt bei der Öffnung des Stromes ohne irgendwelche Schwingungen sofort wieder auf die Nulllage zurück.

Diese Aperiodizität ist indessen mit dem Übelstand verbunden, daß sich der Magnet langsamer als sonst bewegt und daß der Nullpunkt seine Lage fast unaufhörlich verändert. Die geringsten Variationen in der Stärke des Erdmagnetismus machen sich nun dadurch geltend, daß der unbewegliche Hauysche Stab durch eine repellierende Einwirkung noch mehr die Ablenkung des Magneten vermehrt. Unter gewissen atmosphärischen Zuständen wird hierdurch die Arbeit mit dem Instrument ganz unmöglich gemacht; in der Regel finden die Veränderungen in der Lage des Nullpunktes nicht schneller statt, als daß die Übelstände durch die große Empfindlichkeit des Instrumentes aufgewogen werden.

Bei jeder Ablesung des Galvanometers muß man daher auch die Nullpunktlage notieren. Wenn sich diese im Verlauf eines Versuches um einige Zentimeter nach der einen oder der anderen Richtung verschiebt, macht das nicht viel; ist die Verschiebung größer, so wird der Spiegel durch zweckmäßige Drehung des Hauyschen Stabes wieder auf Null gebracht.

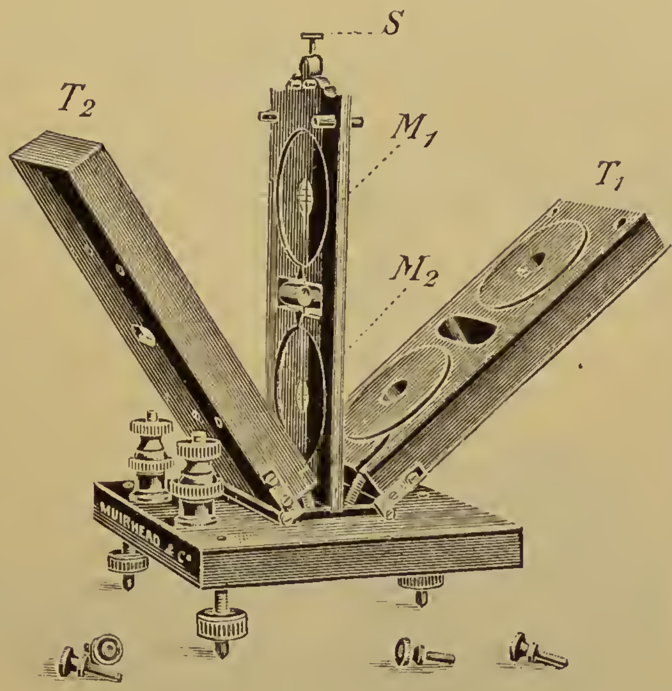
Wo die Aperiodizität nicht wünschenswert ist, wird der Stab weggenommen, bzw. mehr oder weniger weit vom Galvanometer entfernt. Dann liest man die Grenzen ab, zwischen welchen der Spiegel beim Ausschlag oszilliert. Zur Beseitigung der Dämpfung schraubt man die Kupferhülse einfach weg und läßt den Magneten frei in den Drahtrollen schwingen.

Nunmehr pflegt man sehr oft das Fernrohr wegzulassen, und statt dessen projiziert man auf eine Skala das vom Manometer zurückgeworfene Bild einer Flamme. Am einfachsten geschieht dies, indem man statt eines planen Spiegels einen konkaven Spiegel nimmt. Wenn man dann seitlich davon in richtiger Höhe eine Glühlampe aufstellt und durch einen Schirm das direkte Licht von den Zuschauern abblendet, so kann man das Bild des Glühfadens auf die entgegengesetzte Wand des Zimmers projizieren und also eine sehr starke Vergrößerung der Galvanometerausschläge erzielen. Es ist selbstverständlich, daß die Lampe um so mehr dem Spiegel angenähert werden muß, auf je größere Entfernung man das Bild auffangen will. Auch muß die Lichtstärke der Lampe der Entfernung angepaßt werden.

Man kann auch die Projektionseinrichtung so anordnen, daß der Spiegel vom Licht eines einzigen Glühfadens einer Osram-Lampe bei Abblendung der übrigen Fäden, getroffen wird. Die Lampe wird dabei einfach in einen Zylinder eingeschlossen, der vorn einen Spalt trägt, in welchen der betreffende Glühfaden eingestellt wird. Mit diesem Zylinder ist die auf Glas gezeichnete oder sonst durchsichtige Skala verbunden. Wenn die Entfernung zwischen Spiegel und Lampe gleich der doppelten Brennweite des Spiegels ist, so fallen Objekt und Bild zusammen. Die Lampe mit der Skala wird gerade gegenüber dem Galvanometer aufgestellt. Um sicher zu sein, daß die Skala nicht durch Drehung um eine vertikale Achse verschoben worden ist, befestigt man an ihr ein Lot, das immer gegen einen bestimmten Punkt am Stativ gerichtet werden soll.

3. Das Galvanometer von Thomson.

Dieses besteht (Fig. 220) aus zwei einander astasierenden Systemen von je drei oder vier untereinander parallelen Magneten aus dünnstem Uhrfederstahl, welche mittels eines Aluminiumdrahtes untereinander verbunden sind.

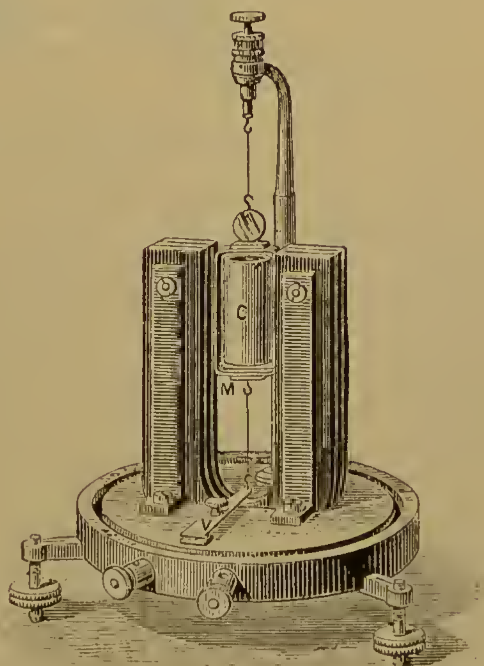


Figur 220. Galvanometer, nach Thomson.

Dieser Draht trägt auch den Spiegel, dessen Bewegungen durch zwei Glimmerflügel gedämpft werden. Die beiden aufklappbaren Seitenteile enthalten je zwei mit isoliertem Kupferdraht umwickelte Rollen, welche zueinander gegenseitig gewickelt sind. Zur vollkommenen Astasierung sind dem Instrument einige Stabmagnete beigegeben, die in der Achse des Apparates entweder oberhalb oder unterhalb der astatischen Nadeln aufgestellt werden. Hierdurch läßt sich das Instrument auch unabhängig vom Erdmagnetismus in jedem beliebigen Meridian aufstellen.

4. Das Drehspulengalvanometer von Deprèz und d'Arsonval.

In diesem Instrument (Fig. 221) wird der Strom durch eine bewegliche Spule geleitet, die zwischen starken permanenten Magneten aufgehängt ist.



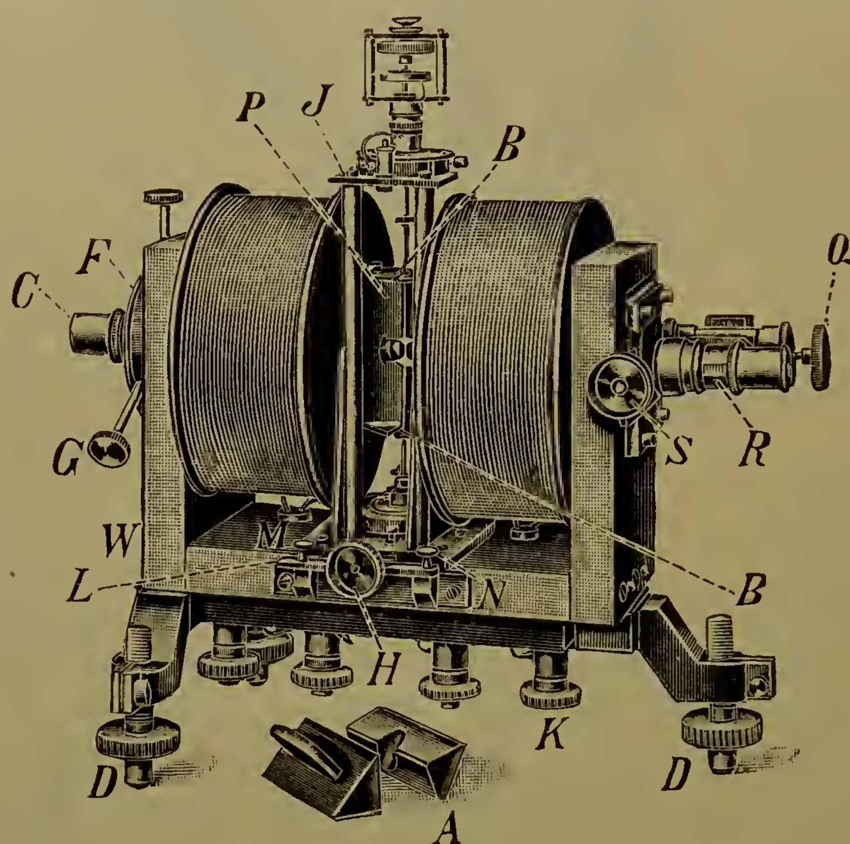
Figur 221. Drehspulengalvanometer, nach Deprèz und d'Arsonval.

Innerhalb der beweglichen Spule ist

ein Eisenzylinder angebracht, durch den die magnetischen Kraftlinien möglichst auf die Spule konzentriert werden. Die Spule ist an einem dünnen, schmalen Goldblech aufgehängt, und eine Spirale führt von ihr vertikal nach abwärts. Die mit einem Spiegel versehene Spule wird durch die Torsion des Aufhängebleches bzw. der nach unten führenden Spiralfeder in seine Gleichgewichtslage zurückgeführt.

5. Das Saitengalvanometer.

Von den bisher erwähnten Instrumenten und allen anderen Instrumenten ähnlicher Konstruktion gilt, daß sie zu träge sind, um ohne weiteres zu

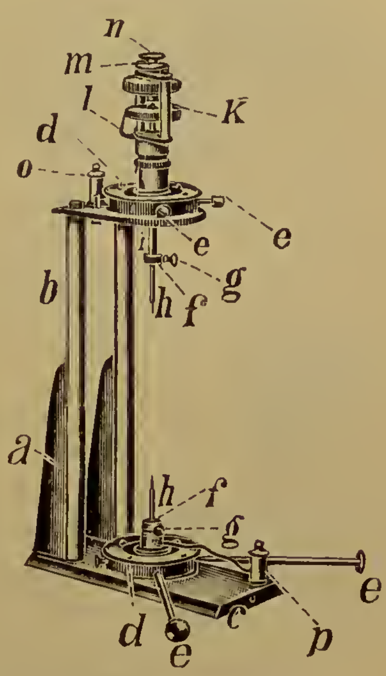


Figur 222. Saitengalvanometer, nach Einthoven.

gestatten, den zeitlichen Verlauf der zu untersuchenden elektrischen Erscheinungen in den tierischen Geweben zu verfolgen. Um dies tun zu können, hat man früher mit dem Galvanometer Apparate verbunden, durch welche es möglich war, eine elektrische Schwankung in einzelne Abschnitte zu zerlegen und aus diesen einzelnen Abschnitten den gesamten Verlauf der Schwankung zu konstruieren. Diese beschwerliche, für ihre Zeit aber unvermeidliche Methode kommt nunmehr kaum in Betracht, seitdem wir im Kapillarelektrometer und vor allem im Saitengalvanometer Instrumente erhalten haben, welche innerhalb gewisser Grenzen den Verlauf der betreffenden Schwankungen photographisch zu registrieren und unter Beobachtung von nötigen Korrekturen in richtigem gegenseitigem Verhältnis zu konstruieren gestatten.

Das von Einthoven gebaute Saitengalvanometer nimmt nunmehr unbestritten die erste Stelle innerhalb des elektro-physiologischen Instrumentariums ein. Seiner Konstruktion liegt das Prinzip zugrunde, daß ein von einem elektrischen Strom durchflossener Draht, wenn er sich in einem kräftigen magnetischen Felde befindet, je nach der Stromrichtung senkrecht zur Richtung der Kraftlinien eine Exkursion nach der einen oder anderen Seite ausführt. Bei dem Saitengalvanometer von Einthoven wird das magnetische Feld durch einen von Akkumulatoren gespeisten Elektromagneten hergestellt.

Figur 222 zeigt das große Saitengalvanometer in perspektivischer Ansicht. Die Hauptmasse des Instrumentes besteht aus einem hufeisenförmigen Elektromagneten, dessen in zwei stumpfe Schneiden auslaufende Polstücke bei *P* sichtbar sind. In der Mitte sind die Polschuhe ebenso wie die die Elektromagnetwickelung tragenden Eisenkerne in horizontaler Richtung durchbohrt, links zur Einführung eines Mikroskoptubus, der ein zur Beleuchtung dienendes Objektiv trägt, rechts zur Einführung des Projektionsmikroskopes *R*.



Figur 223. Fadenträger des Saitengalvanometers.

Zwischen den Polschuhen ist die Saite in der aus Figur 223 ersichtlichen Fassung *h*, *h* ausgespannt. Die Art und Weise, wie sie eingesetzt wird, kann hier nicht beschrieben werden, sondern ich muß in dieser Hinsicht auf die Beschreibungen in den Mitteilungen Edelmanns oder in Gartens Darstellung im Handb. d. physiol. Methodik verweisen.

Mittels der Zentrierdosen *d d* wird der Faden genau vertikal und symmetrisch in bezug auf die Polstücke eingestellt. Bei dieser Operation muß der Faden mittels einer Bogenlampe, deren Licht mittels des Mikroskopes links auf den Faden konzentriert wird, stark belichtet werden. Dann wird die Saite mittels der Mikrometerschraube *K* in genügendem Grade gespannt. Bei allen Operationen muß die Berührung des Fadens mit den Polstücken und dem Objektiv sorgfältig vermieden werden. Mittels des Projektionsmikroskopes wird sodann der Schatten der Saite auf einen weißen Grund projiziert; die bei *A* (Fig. 222) abgebildeten Messingstücke werden schließlich zur Abdichtung des Spaltraumes zwischen den beiden Elektromagneten eingeschoben.

Die Größe und die Geschwindigkeit des Ausschlages, der in der Regel photographisch registriert wird, sind von der Dicke und der Länge der Saite abhängig. Bei einer gewissen Saitenspannung wird bei 100facher Vergrößerung durch einen Strom von 1.3×10^{-7} Amp. in 0.015 Sekunde ein Ausschlag von 1 mm Umfang in das Projektionsfeld erhalten. Wird die Spannung stärker, vollzieht sich der Ausschlag in 0.003 Sekunde; der Umfang

des Ausschlages von 1 mm entspricht aber jetzt einer Stromstärke von 2×10^{-6} Amp. Durch vermehrte Spannung der Saite wird also die Geschwindigkeit des Ausschlages größer, die Größe der Abweichung für eine bestimmte Stromstärke aber kleiner.

Betreffend die Wahl der Saite bemerkt Garten, daß, wenn der Widerstand im übrigen Stromkreis klein ist, ein Faden von geringem Widerstand, z. B. ein Goldfaden, zu benutzen ist. Wo der Widerstand größer ist und selbst für die Beobachtungen der Muskelströme eignen sich die dünnsten versilberten Quarzfäden bzw. dünnsten Platinfäden am besten.

Äußerst schwache, langsam verlaufende Ströme werden am besten mit stark entspannter Saite registriert; für rasch verlaufende Vorgänge, auch wenn die Intensitäten gering sind, empfiehlt es sich, die Saite ziemlich stark zu spannen, so daß gerade noch Aperiodizität vorhanden ist.

Die Art und Weise, wie man aus der registrierten Saitenbewegung den wirklichen zeitlichen Verlauf des betreffenden Stroms ableiten kann, kann hier nicht erörtert werden.

6. Das Kapillarelektrometer.

Beim Kapillarelektrometer taucht eine zu einer kapillaren Spitze ausgezogene, mit Quecksilber gefüllte Röhre in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure. Wenn ein elektrischer Strom durch dieses Instrument geleitet wird, so verschiebt sich der Quecksilbermeniscus in der Kapillarröhre sofort in der Richtung des Stromes. Wird also der positive Pol mit der Schwefelsäure verbunden, so zieht sich der Meniscus beim Schluß des Stromes von der Spitze der Kapillare zurück. Beim Öffnen des Stromes nimmt er seine frühere Lage wieder ein.

Die Ausschläge des Kapillarelektrometers sind nur von der Spannung des Stromes, nicht von der Stromstärke abhängig; ein Strom von unveränderter Spannung ruft also ohne eingeschalteten Widerstand und mit einem Widerstand von 100 000 Ohm den gleichen Ausschlag hervor.

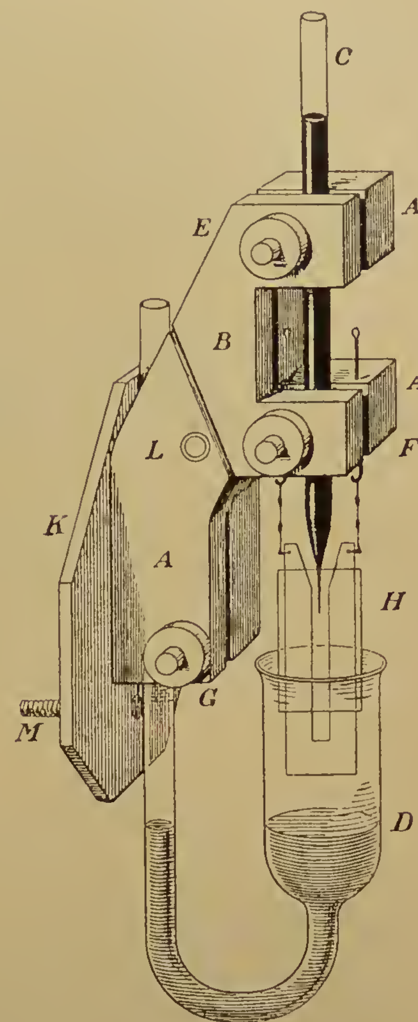
Die Ausschläge des Elektrometers müssen mit dem Mikroskope beobachtet werden; bei gewissen Elektrometern können sogar Immersionslinsen hier benutzt werden. Die Ausschläge werden nunmehr in der Regel auf eine bewegte photographische Platte projiziert.

Die jedem Punkte der vom Kapillarelektrometer gelieferten Kurve entsprechende elektromotorische Kraft setzt sich aus zwei Termen zusammen: die erste ist der Abstand des Meniscus von seiner Ausgangslage; die zweite Term läßt sich aus der Geschwindigkeit berechnen, mit welcher in dem betreffenden Punkte das Quecksilber ansteigt oder absinkt. Beide Termen, mit bestimmten aus den Eichungskurven hervorgehenden Konstanten multipliziert, geben die in dem Punkte wirkende elektromotorische Kraft wieder. Wie dies ausgeführt wird, kann hier nicht dargestellt werden. Ich habe nur darauf aufmerksam machen wollen, daß die unmittelbar erhaltenen Kurven

beim Kapillarelektromotor wie teilweise auch, obgleich in viel geringerem Grade, beim Saitengalvanometer erst nach durchgeführter Analyse den wirklichen Verlauf der Veränderungen der elektromotorischen Kraft angeben.

Das Elektrometer muß zwischen den Versuchen immer in sich geschlossen sein, damit etwa entstandene Polarisationsladungen ausgeglichen werden können.

Es gibt eine große Menge verschiedener Konstruktionen des Kapillarelektrometers. Unter diesen sei hier nur ein Modell von Burch beschrieben. Die Kapillare (Fig. 224) taucht in einen aus Glimmer hergestellten Trog *H*, der mittels zwei Ketten aus dünnstem Platindraht aufgehängt ist. Die Stirnfläche des Troges wird von einem Deckgläschen geliefert. Da der Abstand zwischen den Wänden des Troges nur sehr gering ist, wird dorthin durch die Kapillarität Schwefelsäure aus dem Gefäß *D* gesogen. Bei dieser Anordnung legt sich die Kapillare in ihrer ganzen Länge dem Deckglas an[1]).



Figur 224. Kapillarelektrometer, nach Burch.

B. Versuche über die tierisch-elektrischen Erscheinungen.

1. Allgemeine Anordnung der Versuche; Bestimmung der elektromotorischen Kraft.

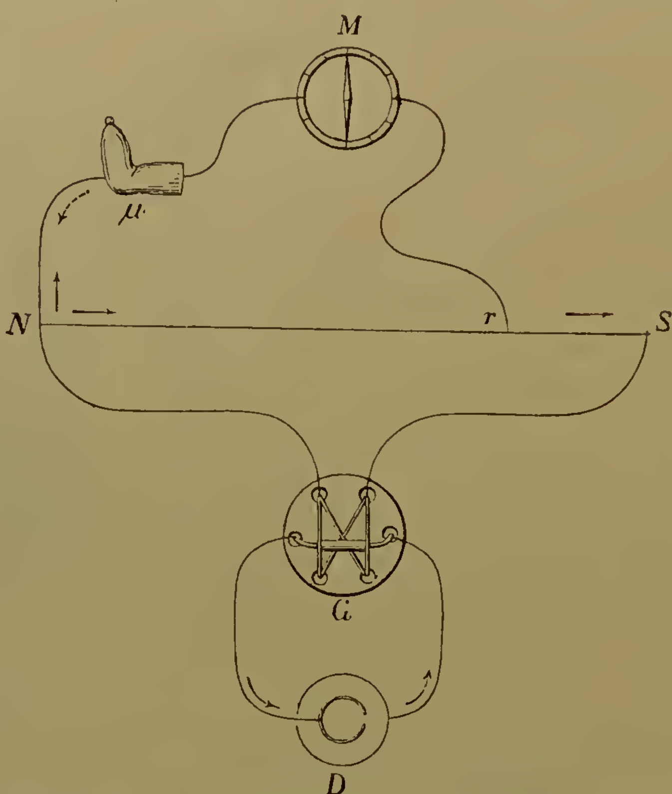
Bei den Versuchen über die tierisch-elektrischen Erscheinungen kommt im allgemeinen die aus der Figur 225 ersichtliche Versuchsanordnung zur Anwendung.

In der Figur bezeichnet *M* das Galvanometer, μ den Nerven oder den Muskel, *NS* ein einsaitiges Rheochord, *G* einen Stromwender und *D* eine Batterie. In der Leitung zwischen μ und *M* und zwischen *D* und *G* hat man sich noch je einen Unterbrecher vorzustellen.

Wenn die Leitung zu *D* unterbrochen ist, ergießt sich beim Galvanometerschluß der Strom des Nerven oder des Muskels durch das Galvanometer, und man bekommt einen Ausschlag gewisser Größe. Schließt man nun den Batteriestrom, während der Rheochordläufer auf Null steht, so bleibt der Ausschlag unverändert; verschiebt man den Läufer nach rechts, so

[1]) Die Firma Alfred Dean, 39 Charles Street Hatton Garden, London E. C. liefert kleine Kapillarelektrometer, die sich bei Versuchen im Praktikum gut bewährt haben sollen.

nimmt der Ausschlag zu oder ab. Im ersten Falle geht der Batteriestrom in derselben Richtung wie der Nervenstrom, im zweiten in entgegengesetzter Richtung. Durch eventuelle Umdrehung des Stromwenders wird der Strom immer in letzterer Richtung geleitet und der Läufer so weit nach rechts geführt, bis das Galvanometer wieder auf Null steht. Der von der Batterie durch das Galvanometer abgezweigte Strom hat den Nervenstrom kompensiert, und die Stärke dieses Stromzweiges entspricht der Größe des nach außen ableitbaren Nervenstromes.



Figur 225. Schema der Versuchsanordnung bei Versuchen über tierische Elektrizität, nach du Bois-Reymond.

Es sei die elektromotorische Kraft der Batterie E, W der Widerstand daselbst und in den bis zu den Punkten N und S gehenden Leitungen. L der Widerstand des Rheochorddrahtes NS und λ der Widerstand der eigentlichen Nebenschließung Nr, d. h. desjenigen Teiles des Rheochorddrahtes, der bei der Bestimmung zwischen den Enden des Galvanometerkreises eingeschaltet ist, M der Widerstand im Galvanometerkreis und y die elektromotorische Kraft des Nerven, bzw. des Muskels.

Nach den Kirchhoff schen Gesetzen[1]) ergibt sich dann die Stärke der beiden im Galvanometerkreis sich deckenden Ströme zu

$$\frac{E\lambda - y\ (L + W)}{(L + W - \lambda)\ (M + \lambda) + M\lambda}.$$

[1]) Die Kirchhoffschen Gesetze betreffend die Stromverzweigung sind: 1. Trifft in einem Punkte c (Fig. 226) eine Anzahl Drähte, $a_1\ a_2\ a_3$, $b_1\ b_2\ b_3$, zusammen und fließt durch die einen $a_1\ a_2 \ldots$ der galvanische Strom zum Punkte c, durch die anderen von demselben fort, so muß die Summe der Intensitäten in den einzelnen Drähten

$$I_{a_1} + I_{a_2} \ldots + I_{b_1} + I_{b_2} \ldots = \Sigma I = 0$$

Wenn sich die beiden Ströme, wie oben angenommen, vollständig kompensieren, wird dieser Ausdruck gleich Null, und also

$$E\lambda = y(L + W),$$

sowie

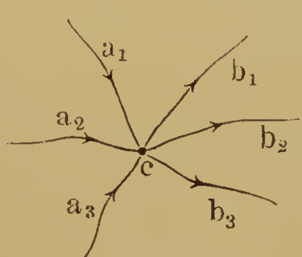
$$y = \frac{\lambda}{L + W} \cdot E.$$

Die elektromotorische Kraft des Nerven bzw. des Muskels verhält sich also zu der der Meßkette wie der Widerstand in der Nebenschließung Nr

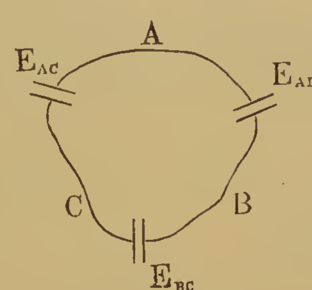
---

sein. Hierbei sind die Intensitäten derjenigen Ströme, welche vom Punkte c fortfließen, mit entgegengesetzten Vorzeichen zu nehmen, wie der zu ihm hinfließenden Ströme.

2. Ist in einem geschlossenen Kreis von Leitern A, B, C . . . (Fig. 227), an deren Berührungsstellen elektromotorische Kräfte E_{AB}, E_{BC} usw. tätig sind, der Widerstand



Figur 226.



Figur 227.

Figur 226 u. 227. Zu den Gesetzen Kirchhoffs.

der einzelnen Leiter gleich r_a, r_b, r_c usw., bezeichnen wir die Potentiale der freien Elektrizitäten auf das Innere an beiden Enden jedes Leiters mit V_a und v_a, V_b und v_b usw. und ist die Intensität des jeden einzelnen Leiter durchfließenden Stromes gleich I_a, I_b, I_c usw., so ist

$$I_a = (V_a - v_a)/r_a, \text{ oder}$$

$$r_a I_a = V_a - v_a$$

$$\text{ebenso } r_b I_b = V_b - v_b$$

$$r_c I_c = V_c - v_c$$

$$\Sigma r I = V_a - v_a + V_b - v_b + V_c - v_c$$

Die Werte $V_b - v_a$, $V_c - v_b$ sind den elektromotorischen Kräften E_{AB}, E_{BC} . . . gleich, so daß wir in dem geschlossenen Kreis haben

$$\Sigma r I = \Sigma E.$$

In einem geschlossenen Kreis von Leitern ist also die Summe sämtlicher Produkte der Intensität des Stromes in einem Element des Leiters durch den Widerstand in demselben gleich der Summe aller im Leiter wirkenden elektromotorischen Kräfte.

Zu diesen Theoremen hat Bosscha unter anderem folgende Zusätze gegeben: 1. Ist in einem System von linearen Leitern, welches beliebige elektromotorische Kräfte enthält, in einem derselben A die Intensität des Stromes Null, so kann man ihn und die etwa darin befindliche elektromotorische Kraft ohne Änderung der Intensität der Ströme in den übrigen Leitern fortnehmen.

2. Ist in jenem Leiter A keine elektromotorische Kraft enthalten, so kann man auch seine Endpunkte m und n direkt miteinander verbinden. Ist eine elektromotorische Kraft in ihm vorhanden, so muß man hierbei eine ihr gleiche und gleichgerichtete Kraft in allen in m oder in n endigenden Leitern anbringen.

zu dem gesamten Widerstand in der Batterie und den Leitungen *DGNSGD*. (Der Widerstand der die Kraft y und das Galvanometer enthaltenden Zweigleitung [des Meßkreises] fällt nach dem 1. BOSSCHAschen Satz fort.)

Ist der Nebenschließungsdraht in N Teile geteilt und wurde das Gleichgewicht im Meßkreise bei dem Teilstrich n erreicht, so hat man

$$\lambda = \frac{n}{N} \cdot L$$

und folglich

$$y = \frac{n}{N} \cdot \frac{L}{L + W} \cdot E = \frac{n}{N(1 + \frac{W}{L})} \cdot E.$$

Wenn man bei offenem Meßkreise die in der Hauptleitung (Fig. 228) *DSrNBD* eingeschaltete Rolle B (vgl. unten) auf das Galvanometer, einmal ohne, das andere Mal mit eingeschaltetem Nebenschließungsdraht *NS* einwirken läßt, so ist die Stromstärke im ersten Falle

$$I = \frac{E}{W},$$

im zweiten

$$I_1 = \frac{E}{W + L}.$$

Setzen wir nun

$$\frac{I}{I_1} = m,$$

so wird

$$m = \frac{W + L}{W} = 1 + \frac{L}{W},$$

$$m - 1 = \frac{L}{W},$$

$$\frac{W}{L} = \frac{1}{m - 1} \quad \text{und schließlich}$$

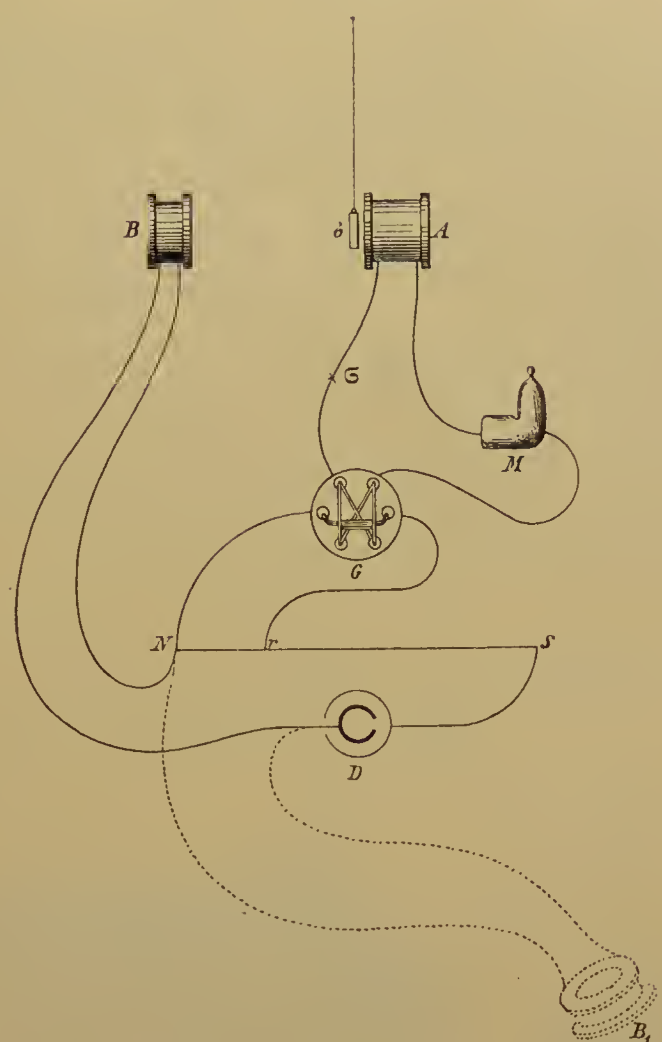
$$y = \frac{n(m-1)}{N \cdot m} \cdot E = \frac{n}{N} \cdot \frac{I - I_1}{I} \cdot E.$$

Bei der Ausführung der Bestimmung wird der Meßkreis geöffnet und die in der Hauptleitung eingeschaltete Rolle B (Fig. 228) — eine Thermo-

3. Befinden sich in einem System von linearen Leitern zwei Leiter a und b, so daß eine in a befindliche elektromotorische Kraft in b keinen Strom erzeugt, so kann man, ohne die Intensität in b zu ändern, Leiter a durchschneiden, und ebenso, ohne die Intensität in a zu ändern, Leiter b durchschneiden. Auch kann man die Endpunkte des durchschnittenen Leiters direkt vereinigen.

(Nach WIEDEMANNS Lehre von der Elektrizität, I. S. 362; 1882).

rolle mit nur wenigen Windungen dicken Drahts — in solcher Entfernung vom Galvanometer aufgestellt, daß der Ausschlag beim Schluß der Haupt-



Figur 228. Schema zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft, nach du Bois-Reymond.

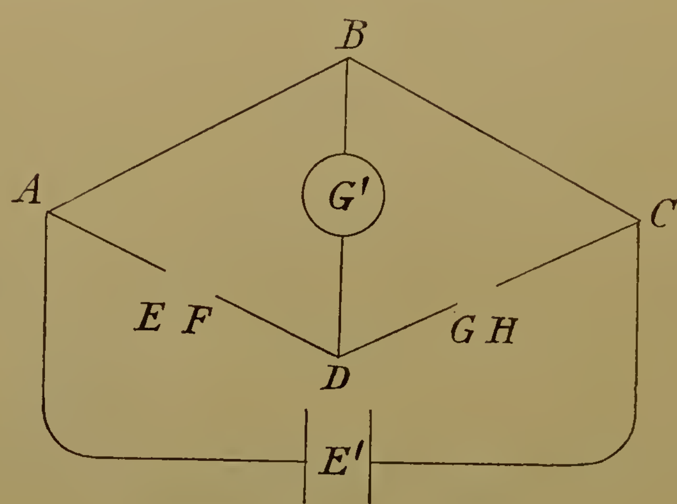
leitung nicht außerhalb der Skala geht. Dann wird der Ausschlag zuerst, wenn der Nebenschließungsdraht ausgeschaltet ist, und dann beim eingeschalteten Draht beobachtet und dadurch $\frac{I}{I_1}$ bestimmt.

In einem Versuche von du Bois-Reymond war dieses Verhältnis gleich 2, die Länge des Nebenschließungsdrahtes betrug 1500 mm. Die Graduationskonstante $\frac{n(m-1)}{N \cdot m}$ war also $\frac{1}{2 \times 1500} = \frac{1}{3000}$; d. h. 1 mm der Nebenschließung entsprach einer Stromstärke von $\frac{1}{3000}$ des benutzten Elementes.

Nach der Bestimmung wird die Rolle *B*, wie aus der Figur ersichtlich, so weit vom Galvanometer entfernt, daß sie keine merkliche Einwirkung auf dasselbe ausüben kann.

2. Die Bestimmung von Widerständen.

Zur Bestimmung von Widerständen wird die WHEATSTONEsche Brücke benutzt. An einem Brett (Fig. 229) sind 8 doppelte Klemmschrauben *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H* in der Weise angebracht, daß *ABCD* die Ecke eines Rhombus mit Seiten von etwa 20 cm Länge bilden; *E* und *F* werden zwischen *A* und *D*, sowie *G* und *H* zwischen *D* und *C* in der Weise eingeschraubt, daß die Entfernung $AE = CH$, $EF = GH$ und $FD = GD$ ist. Ein grober Metalldraht verbindet *E*, *A*, *B*, *C*, *H* und ein anderer *F*, *D*, *G*. Zwischen *EF* und *GH* ist die Leitung unterbrochen; die Klemmen *E* und *F* werden mittels eines Rheostaten (vgl. unten 255) in leitende Verbindung miteinander gestellt, die Klemmen *G* und *H* mit dem Körper, dessen Leitungswiderstand bestimmt werden soll, verbunden. *A* und *C* stehen mit einer Batterie *E'*, *B* und *D* mit dem Galvanometer *G'* in Verbindung.



Figur 229. Wheatstones Brücke.

Wir nehmen an, daß der Strom bei *A* eintritt; davon stehen ihm folgende Wege zu *C* offen: *ABC*, *AEFDGHC*, *ABDGHC*, *AEFDBC*. Die Stromzweige, welche die beiden letzten Wege passieren, müssen durch die das Galvanometer enthaltende „Brücke" gehen.

Sind beide Zweige gleichstark, so heben sie einander auf, und das Galvanometer bleibt ruhend.

Dies trifft ein, wenn der Widerstand in der Leitung zwischen *E* und *F* gleich groß ist wie der zwischen *G* und *H*. Bezeichnen wir nämlich mit *i* und *r* Stromstärke und Widerstand in der Hauptleitung, sowie Stromstärke und Widerstand in *AB*, *BC*, *AEFD*, *CHGD* und *BGD* mit bzw. $i_1\ r_1$, $i_2\ r_2$, $i_3\ r_3$, $i_4\ r_4$, $i_5\ r_5$, so bekommen wir nach den KIRCHHOFFschen Gesetzen

$$\begin{aligned} \text{für } A\text{: } i &= i_1 + i_3 \\ \text{für } C\text{: } i &= i_2 + i_4 \\ \text{für } B\text{: } i_5 &= i_1 - i_2 \\ \text{für } D\text{: } i_5 &= i_4 - i_3 \end{aligned}$$

sowie

$$\text{für } ABD\text{: } i_5 r_5 = i_3 r_3 - i_1 r_1$$
$$\text{für } DBC\text{: } i_5 r_5 = i_2 r_2 - i_4 r_4$$

Hieraus erhalten wir

$$i_5 = \frac{(r_2 r_3 - r_1 r_4) i}{r_5 (r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + (r_1 + r_3)(r_2 + r_4)}.$$

Damit i_5 gleich Null sein wird, muß, da der Nenner nicht ∞ werden kann, der Zähler Null werden, also

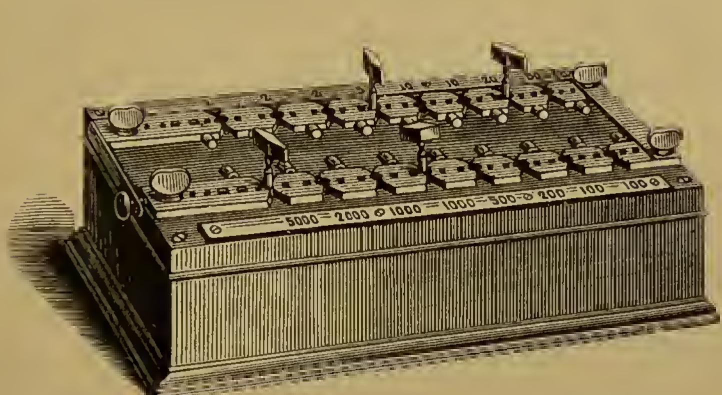
$$r_2 r_3 - r_1 r_4 = 0,$$

das ist

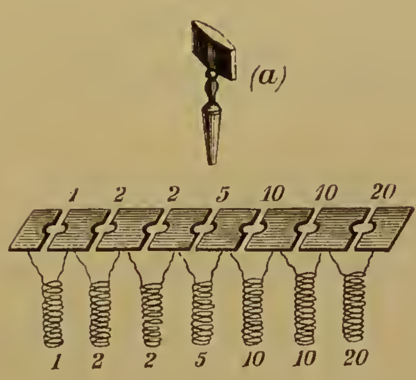
$$\frac{r_3}{r_1} = \frac{r_4}{r_2}$$

Da nun $r_2 = r_1$, so ist auch $r_4 = r_3$.

Der **Rheostat**, der bei Widerstandsbestimmungen benutzt wird, soll einen Widerstand darbieten, der dem zu bestimmenden gleich kommt und daher je nach diesem verschieden sein muß.



Figur 230 a.



Figur 230 b.

Figur 230. Rheostat.

Der gewöhnliche Widerstandskasten besteht aus einem parallelipipedischen Kasten (Fig. 230 a), in welchem eine Anzahl Rollen aus übersponnenem, zur Vermeidung von Induktionswirkungen bifilar gewickeltem Manganindraht eingeschlossen sind (Fig. 230 b). Diese Rollen enthalten verschiedene Drahtlängen. An der oberen Wand des Kastens ist eine entsprechende Zahl von isolierten messingenen Klötzen befestigt, welche durch messingene Stöpsel miteinander in leitende Verbindung gestellt werden können. Jeder dieser Klötze ist mit je einem Ende der benachbarten Manganinrollen verbunden. Bei eingesetztem Stöpsel geht der Strom durch diesen von dem einen Klotz zu dem anderen; ist dagegen der Stöpsel herausgenommen, so muß der Strom durch die entsprechende Manganinrolle strömen. Diese Rollen üben bei der am Instrumente angegebenen Temperatur einen Widerstand

aus, dessen Größe, in Ohm, durch die zwischen je zwei Klötzen befindlichen Zahlen angegeben wird.

Um kleinere Variationen des Widerstandes herzustellen, nimmt man das Stück, welches die beiden Reihen von Klötzen verbindet, fort und schaltet einen zweisaitigen Rheochord in die Leitung ein. Wenn der Rheostat nicht einen genügend großen Widerstand darbietet, muß man einen Extrawiderstand geeigneter Stärke hinzufügen.

3. Elektroden.

Bei allen Versuchen über die tierische Elektrizität können nur unpolarisierbare Elektroden (vgl. S. 225) in Betracht kommen.

Wie sorgfältig sie auch hergestellt werden mögen, bieten sie indessen fast immer eine, wenn auch nur geringe, Potentialdifferenz dar, und beim Versuch muß man daher den eigenen Strom der Elektroden zuerst kompensieren. Zu diesem Zwecke vereinigt man die Elektroden durch einen dicken Zylinder aus Kochsalzton und leitet zum Galvanometer ab. Wenn dann ein Ausschlag entsteht, wird er wie oben beschrieben kompensiert und bei dem eigentlichen Versuch gebührend beachtet. Da der Kochsalzton eine so gute Nebenschließung darbietet, daß der Nerven- oder Muskelstrom dadurch vom Galvanometer vollständig abgeblendet wird, kann man im Verlaufe des Versuches durch wiederholtes Auflegen des Tonzylinders auf die Elektroden sich von ihrem Zustand nach Bedarf unterrichten.

4. Die elektrischen Erscheinungen beim ruhenden Nerven und Muskel.

a) Der Strom des ruhenden Nerven.

Zur Untersuchung des Stromes des ruhenden Nerven präpariert man an einem Frosch die beiden Ischiadici in ihrer ganzen Länge vom Austritt aus dem Rückenmark bis zum Kniegelenk frei und bindet sie oben und unten mit je einem Faden leicht zusammen. Um größere Ausschläge zu bekommen, kann man auch vier bis sechs Ischiadici benutzen.

Man legt nun die Nerven mit ihrer Mitte auf die eine Elektrode (Längsschnitt der Nerven) und mit dem Ende (Querschnitt der Nerven) auf die andere. Es empfiehlt sich, den Querschnitt in einer Strecke von $^1/_2$—1 cm mit einer Pinzette zu quetschen oder mittels eines Pinsels mit heißem Wasser zu bestreichen.

Bei dieser Ableitung bekommt man die stärksten Ausschläge. Wird der Nerv aber von zwei Punkten seiner Oberfläche, die symmetrisch zu der Mitte des Nerven gelegen sind, zum Galvanometer abgeleitet, so zeigt sich keine Potentialdifferenz.

b) Der Strom des ruhenden Muskels.

Um den Strom des ruhenden Muskels nachzuweisen, legt man den Muskel auf ein Objektglas und leitet den Strom zum Galvanometer durch entfettete und mit 0.6 prozentiger Kochsalzlösung durchtränkte Wollfäden, die an den unpolarisierbaren Elektroden befestigt sind, ab. Oder auch man formt den Kochsalzton der Elektroden zu langen Spitzen, die man an den Muskel anlegt. Endlich kann man den Muskel einfach auf die Elektroden direkt lagern.

Auch beim Muskel bekommt man den größten Ausschlag, wenn er von seiner Mitte und seinem Querschnitt abgeleitet wird. Der Querschnitt wird am besten so angelegt, daß das eine Ende des Muskels in eine 50 ° C warme Kochsalzlösung getaucht oder mit heißem Wasser bepinselt wird.

Wird der Muskel von zweien zu seiner Mitte symmetrischen Punkten zum Galvanometer abgeleitet, so erscheint überhaupt kein Ausschlag. Dagegen tritt ein solcher bei Ableitung von zwei unsymmetrischen Punkten auf: dieser ist indessen kleiner als der bei Längsquerschnittsableitung erhaltene.

Ziemlich stromlos ist der Gastrocnemius, wenn er möglichst vorsichtig präpariert wird, so daß auch kein Tropfen des Hautsekretes des Frosches mit ihm in Berührung kommt; sobald man den Muskel indessen an einer der abgeleiteten Stellen etwas verletzt, tritt auf einmal ein starker Strom auf.

Ebenso ist ein, infolge der Abbindung des Venensinus stillstehendes, sehr sorgfältig präpariertes Froschherz ziemlich stromlos, wenn es von der Spitze und Basis der Kammer zum Galvanometer abgeleitet wird. Wie beim Muskel erscheint aber sofort nach Abschneidung der Spitze und Ableitung der Wundfläche nach dem Galvanometer ein starker Ausschlag, dessen Größe allmählich abnimmt, um nach Erfrischung der Wundfläche wieder zuzunehmen.

c) Der Strom der Froschhaut.

Ein Stück frischer Froschhaut wird mit der inneren Fläche auf die eine, mit der äußeren Fläche auf die andere Elektrode gelagert; beim Schluß der Galvanometerleitung tritt dann ein in der Haut von außen nach innen gerichteter Strom auf.

d) Der Froschstrom.

An einem stark narkotisierten oder kuraresierten Frosch leitet man vom Kopf und von den Füßen zum Galvanometer ab. Dieser zeigt dann das Vorhandensein eines im Frosch von den Füßen zum Kopf gerichteten Stromes.

5. Die Aktionsströme des Nerven und des Muskels.

a) Versuche am Froschnerven.

Die allgemeine Anordnung bei Versuchen über den Aktionsstrom des Nerven ist die schon oben dargestellte (S. 249); nur muß man an dem Nerven noch ein paar Reizelektroden anbringen, welche ihrerseits mit der sekundären Rolle eines Induktionsapparates verbunden werden. Um Störungen von dem Reizkreise auf den Galvanometerkreis vorzubeugen, müssen die Nerven möglichst lang sein, so daß die beiden Elektrodenpaare möglichst weit voneinander stehen; dazu trägt auch die Anwendung von Platinelektroden als Reizelektroden bei. Der Reiz, der hier in der Regel aus schnell nacheinander folgenden Induktionsströmen besteht, soll genügend, aber nicht übermäßig stark sein; die Rollen des Induktionsapparates sollen, um direkte Induktionswirkungen auf das Galvanometer auszuschließen, so gestellt werden, daß ihre Drahtwindungen senkrecht gegen die des Galvanometers stehen. Man überzeugt sich von der Abwesenheit von solchen Wirkungen dadurch, daß man bei spielendem Hammer des Induktionsapparates die Leitung zum Galvanometer unterbricht; dann muß der Galvanometerspiegel still stehen.

Nachdem alles aufgestellt ist, wird die Galvanometerleitung geschlossen, der Ruhestrom kompensiert und schließlich der Nerv gereizt.

b) Versuche am Froschmuskel.

Um den Aktionsstrom beim Froschmuskel nachzuweisen, stellt man ein Nerv-Muskelpräparat her, legt den Nerven auf Platinelektroden, die zu der sekundären Rolle eines Induktionsapparates führen, leitet den Muskel in schon beschriebener Weise vom Längsschnitt und Querschnitt zum Galvanometer ab, kompensiert den Ruhestrom und reizt.

Hierbei müssen dieselben Vorsichtsmaßregeln wie bei Versuchen über den Aktionsstrom des Nerven eingehalten werden. Es kommt aber hier noch hinzu, daß man jede Verkürzung des Muskels, d. h. jede Verschiebung der Elektroden, bei der Reizung sorgfältigst vermeiden muß. Zu diesem Zwecke spannt man die beiden Endpunkte des Muskels zwischen zwei durch die entsprechenden Knochen in das Froschbrett eingestochenen starken Nadeln.

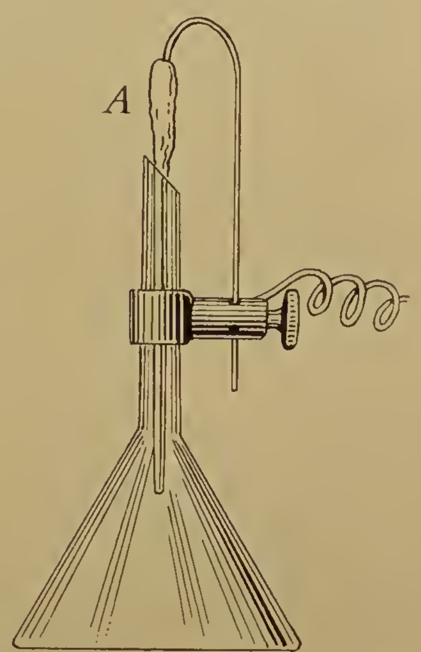
Bei diesen Versuchen soll man sowohl die Wirkung einzelner wie auch die von schnell nacheinander wiederholten Reizen prüfen.

Die Aktionsströme des Muskels sind genügend stark, um selber erregend zu wirken. Wenn man auf einen Muskel (Gastrocnemius) *A* den Nerven eines anderen Gastrocnemius *B* legt, und zwar so, daß dieser Nerv mit der Mitte und dem Querschnitt des Muskels *A* verbunden ist, dann den Muskel *A* so stark spannt (vgl. oben), daß er sich nicht bei der Reizung verkürzen kann, und ihn vom Nerven aus reizt, so kontrahiert sich auch

der Muskel *B*; bei einzelner Reizung führt er für jede Erregung des Muskels *A* eine einzelne Zuckung aus; bei frequenter Reizung des Nerven *A* gerät der Muskel *B* in Krampf. Diese Kontraktionen des Muskels *B* werden als sekundäre Zuckungen bzw. sekundärer Tetanus bezeichnet.

c) Versuche an den Muskeln des Menschen.

Um die bei der willkürlichen Muskeltätigkeit des Menschen auftretenden Stromschwankungen nachzuweisen, benutzt man für die Ableitung zum Saitengalvanometer folgende Vorrichtung (Fig. 231).



Figur 231. Elektrode für Ableitung zum Galvanometer beim Menschen.

An zwei Stellen am Oberarm, entsprechend etwa der Mitte und dem unteren Ende des M. biceps werden Gurte aus dicker Leinwand geschnallt. Jeder von diesen hat ein in der Längsrichtung des Bandes gehendes Loch von etwa 2 cm Länge; durch dieses wird ein Trichter mit der breiten Öffnung gegen die Haut geführt. Der Trichter ist mit Zinksulfatton gefüllt, und durch die Trichterröhre wird ein amalgamierter Zinkstab *A* hineingesteckt. Außen am Rohr befindet sich ein messingener Ring, an welchem der am Zinkstabe festgelötete Kupferdraht mittels einer Schraube befestigt ist; der Ring trägt noch eine Klemmschraube für die Leitung zum Galvanometer. Beim Versuch wird der Zinksulfatton noch mit einer Schicht von Kochsalzton überzogen, damit die Haut nicht der ätzenden Einwirkung des konzentrierten Zinksulfats ausgesetzt werden möge. Nach Ende des Versuches entfernt man diese letztere Schicht und hält die Elektroden in einem mit Wasserdampf gesättigten verschlossenen Gefäß zum nächsten Versuch bereit.

Der Versuch wird einfach in der Weise ausgeführt, daß die Versuchsperson auf Kommando ihren M. biceps zusammenzieht, wobei die dann auftretenden Oszillationen des Galvanometers photographiert werden.

Auch bei diesen Versuchen soll der vor der Kontraktion etwa vorhandene Strom in schon angegebener Weise kompensiert werden.

d) Die Aktionsströme des Herzens.

Man präpariert ein Froschherz frei, ohne den Venensinus zu verletzen, und lagert es auf die Tonspitzen der unpolarisierbaren Elektroden, so daß die Basis auf der einen und die Spitze auf der anderen liegt. Hierbei muß das Herz so gut mit Ton umgeben werden, daß es trotz der Kontraktionen immer in innigster Berührung mit dem Ton bleibt.

Auch kann man bei einem stark narkotisierten Frosch nach Freilegen des Herzens dessen Aktionsströme durch wollene Fäden (vgl. S. 225) zum Galvanometer ableiten. Die Fäden dürfen nicht mit anderen Organen des Frosches in Berührung kommen; an der Herzoberfläche werden sie durch kleine Gerinnsel ziemlich gut festgehalten.

Über die Aktionsströme des menschlichen Herzens vgl. oben S. 125.

6. Der Elektrotonus.

Wenn ein konstanter Strom durch eine Strecke eines Nerven geleitet und eine andere Strecke desselben Nerven mit dem Galvanometer verbunden wird, so erscheint in diesem ein Ausschlag, der das Vorhandensein eines mit dem zugeführten gleichgerichteten Stromes in der abgeleiteten Nervenstrecke anzeigt.

Um diesen elektrotonischen Strom nachzuweisen, legt man die beiden zusammengebundenen Nn. ischiadici eines Frosches über 4 unpolarisierbare Elektroden *a*, *b*, *c*, *d*, von denen *a* und *b* den Strom dem Nerven zuführen und *c* und *d* den Nerven mit dem Galvanometer verbinden. Die Leitung zu *a* und *b* wird ganz wie bei der Reizung mittels eines konstanten Stromes und die zu *c* und *d* ganz wie die bei sonstigen Versuchen über den Nervenstrom aufgestellt.

Nachdem der Nervenstrom kompensiert worden ist, schließt man den konstanten Strom und bekommt dann einen Ausschlag im Galvanometer, dessen Richtung sich je nach der Richtung des konstanten Stromes verändert.

Je näher die ableitenden Elektroden den Reizelektroden gelegen sind und je stärker der konstante Strom ist, um so stärker ist auch der abgeleitete Strom; desgleichen ist er stärker in der Gegend des positiven Pols als in der des negativen. Versuche hierüber werden in der Weise gemacht, daß man die Stärke des Reizstromes durch Verschiebung des Rheochordläufers und seine Richtung durch Umlegung der Wippe verändert.

Bei diesen Versuchen ist es vorteilhaft, wenn der Abstand *a*—*b* ziemlich groß ist, denn dann werden die elektrotonischen Ströme unter sonst gleichen Verhältnissen stärker.

Wird der Nerv zwischen der Reizstrecke und der abgeleiteten Strecke unterbunden, so treten nunmehr keine Ströme im Galvanometer auf. Die elektrotonischen Ströme erfordern also zu ihrem Auftreten, daß nicht allein der mechanische Zusammenhang des Nerven, sondern auch seine Struktur unversehrt sein soll.

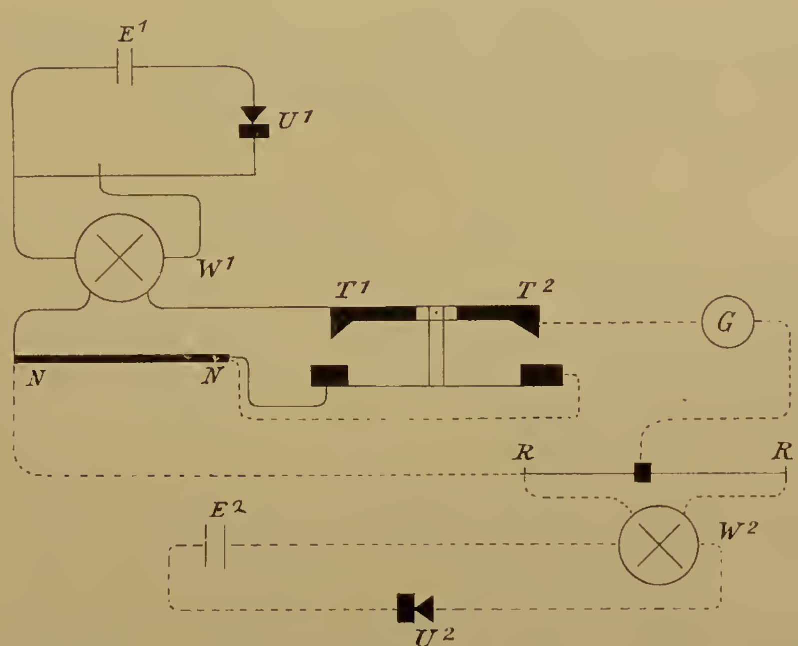
7. Die Polarisation in den Nerven.

Wenn ein elektrischer Strom durch einen Nerven geht, ruft er durch Polarisation einen in entgegengesetzter Richtung gehenden Strom hervor, welcher nach der Öffnung des primären Stromes in seiner vollen Stärke erscheint.

Um den Polarisationsstrom nachzuweisen, benutzt man folgende Versuchsanordnung (Fig. 232).

Von der Batterie E^1 geht der Strom durch einen als Nebenschließung benutzten Rheochord zu einem Stromwender W^1 und von da durch einem zweiarmigen elektrischen Taster T^1 zum Nerven NN und dann zur Batterie zurück. Durch den zweiten Arm des Tasters T^2 wird der Strom durch dieselben Elektroden in der aus der Figur 232 ersichtlichen Weise zum Galvanometer G abgeleitet. Der eigene Strom des Nerven wird in gewöhnlicher Weise kompensiert.

Eine im Diagramm nicht aufgenommene Feder hält den einen Arm des Tasters T^1 gegen die Unterlage gedrückt; dabei ist die Leitung zum Galvanometer T^2 unterbrochen. Wenn dieser durch Herabdrücken des Armes T^2 geschlossen wird, wird der Kontakt bei T^1 geöffnet.



Figur 232. Versuchsanordnung zum Nachweis des Polarisationsstroms.

Nachdem die Nerven auf die Elektroden gebracht wurden — auch hier wendet man die beiden zusammengebundenen Ischiadici an — wird der Nervenstrom kompensiert, während der Batteriestrom bei U^1 unterbrochen ist. Nach stattgefundener Kompensierung wird U^1 geschlossen, während der Taster T^1 noch offen ist; dann wird T^1 gegen die Unterlage gedrückt, und der Batteriestrom geht durch den Nerven. Nachdem der Strom eine Zeitlang durch den Nerven geströmt ist, wird durch Bewegung des Tasters die Galvanometerleitung bei T^2 geschlossen und der Batteriestrom bei T^1 unterbrochen. Es tritt jetzt im Galvanometer ein Ausschlag auf, welcher zeigt, daß nun im Nerven ein Strom in entgegengesetzter Richtung gegen den Batteriestrom kreist.

Die Stärke des Polarisationsstromes ist u. a. von der Stärke und der Dauer des konstanten Stromes abhängig, daher muß man bei diesen Versuchen immer auch die Zeit beobachten (Schläge eines Metronoms).

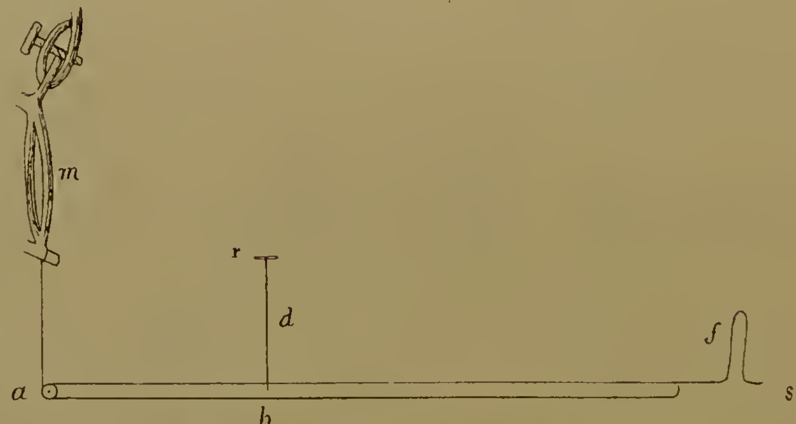
Für diese Versuche braucht man eine Stromstärke von etwa 3—4 Volt.

Bei nicht zu schwachen Strömen kann es zuweilen vorkommen, daß das Galvanometer, auch wenn der Kontakt bei T^2 nicht geschlossen ist, einen Ausschlag gibt. Dieser Ausschlag ist davon bedingt, daß bei feuchtem Wetter ein schwacher Stromzweig nach dem Galvanometer abgezweigt wird. Bei den hier im allgemeinen in Betracht kommenden Stromstärken spielt dieser Ausschlag indessen keine Rolle, wenn nicht der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sehr hoch ist.

V. Die Arbeit des Muskels.

A. Verschiedene Arbeitsarten.

Die Arbeit des erregten, isolierten Muskels bei einzelnen, durch einen Öffnungsinduktionsschlag hervorgerufenen Zuckungen kann in mehrfacher



Figur 233. Isometrische Anordnung, nach Fick.

Art untersucht werden, indem dem Muskel verschiedene Aufgaben gestellt werden.

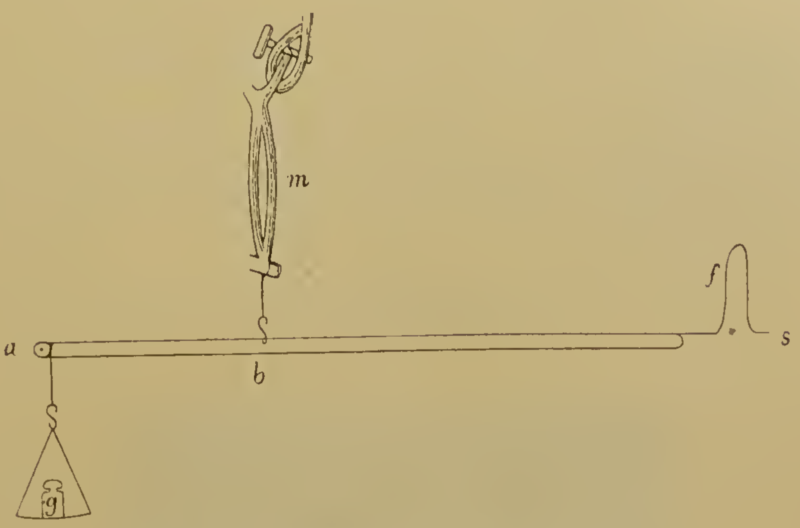
1. Der gereizte Muskel wirkt auf eine gespannte Feder von solcher Stärke ein, daß er sich nur ein klein wenig verkürzen kann und also infolge der Reizung nur die Spannung des Muskels zunimmt, während seine Länge im großen und ganzen unverändert bleibt (isometrische Zuckung).

Eine derartige Vorrichtung ist in Figur 233 halbschematisch dargestellt. *b* ist ein zweiarmiger Hebel mit Stirnschreibung *fs*; *m* der Muskel, der mit einem Hebelarm von 2 mm den Hebel angreift; *r* stellt das Ende einer Glasfeder dar, die unter Vermittlung einer steifen Drähtchens *d* in 40—60 mm Entfernung von der Achse mit dem Hebel verbunden ist.

2. Dem gereizten Muskel ist gestattet, sich zu verkürzen. Hierbei kommen folgende Arbeitsarten vor.

a. Der Muskel greift den einarmigen Hebel in einer gewissen Entfernung an dessen Achse an, während die Belastung möglichst nahe der

Achse angebracht ist (vgl. Fig. 234, welche keine nähere Beschreibung nötig hat). Durch diese Anordnung sucht man, die Trägheitsmomente der zu bewegenden Massen möglichst zu vermindern (vgl. oben S. 43) und dem Muskel während der ganzen Dauer der Kontraktion eine und dieselbe



Figur 234. Isotonische Anordnung, nach Fick.

Spannung (gleich der Belastung) zu erteilen (isotonische Zuckung), was indessen nur zum Teil gelingt.

Wenn a die Hebellänge der Belastung g und b die des Muskels ist, so ist die wirkliche Belastung des Muskels ag/b; wenn ferner die Hebellänge bis zur Schreibspitze c und die Höhe der am Registerapparat geschriebene Zuckung h ist, beträgt die Arbeit des Muskels:

$$\frac{b}{c} \times h \times \frac{ag}{b} = \frac{a}{c} \times gh.$$

Soll sich die Muskelspannung während der Zuckung nur wenig ändern, so leistet der Zug eines Kautschukbandes gute Dienste. Wählt man ein Band von großer Länge oder gibt man ihm, wie Grützner getan hat, eine solche Richtung, daß sein Drehungsmoment mit der Verkürzung des Muskels, also der Verlängerung des Bandes abnimmt, so kann man sich einer konstanten Spannung des Muskels sehr weit annähern (vgl. Fig. 235).

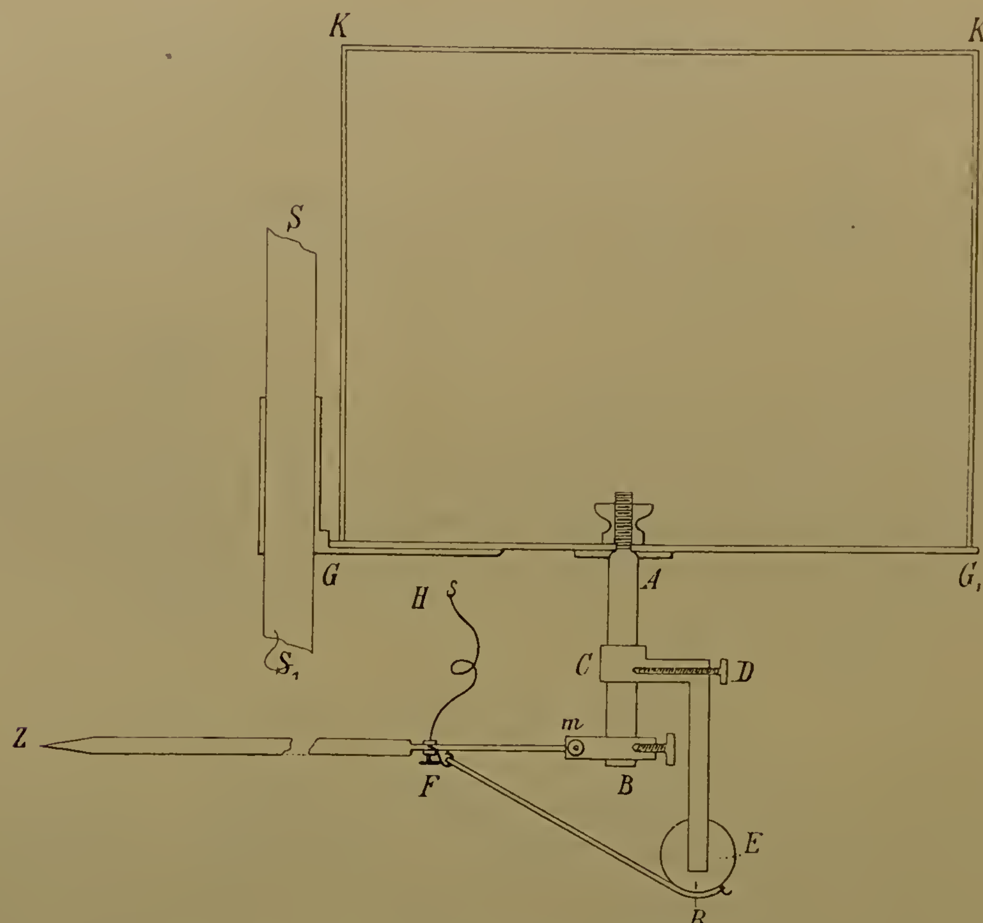
β. Man bringt an dem Hebel, Figur 234, die Belastung gerade unterhalb des Angriffspunktes des Muskels an und wählt das Gewicht so, daß die Belastung hier ebenso groß wird wie die wirkliche Belastung im Falle α. Wegen des längeren Hebelarmes der Belastung ist das Trägheitsmoment derselben jetzt größer, und infolgedessen wird die Muskelkontraktion in ihrem Anfang etwas verzögert, was seinerseits eine Schleuderbewegung des Hebels bewirkt (Wurfbewegung).

γ. Man verlängert den Hebel nach hinten und belastet ihn auf beiden Seiten, vorn und hinten von der Hebelachse in einer Entfernung von ein paar Zentimeter, mit gleichgroßen Gewichten; diese äquilibrieren sich gegenseitig und verändern also bei immer gleichbleibendem belastendem Gewicht

nicht die Spannung des Muskels. Dagegen vermehren sie in hohem Grade die zu bewegenden Massen, und die Schleuderung wird viel größer als im Falle β (Bewegung mit Schwungmassen).

Man mache an einem und demselben Muskel Versuche nach den Arbeitsweisen α—γ unmittelbar nacheinander und berücksichtige dabei, daß die Anfangsspannung des Muskels, d. h. seine wirkliche Belastung bei allen Versuchen dieselbe ist.

Am lehrreichsten ist es, wenn man an einem Registrierzylinder mit festem Unterbrecher (vgl. S. 234) ohne Änderung der Abszisse diese Kurven



Figur 235. Isotonischer Muskelhebel, nach Grützner.

bei ziemlich schneller Bewegung (200 bis 300 mm pro Sekunde) aufnimmt. Die übereinander gezeichneten Kurven lassen dann ohne weiteres die Einwirkung der verschiedenen Arbeitsart auf den Verlauf der Kurve erkennen. Dabei muß besonders hervorgehoben werden, daß von diesen Kurven wenigstens die, welche bei den Arbeitsweisen β und γ gewonnen sind, bei weitem nicht die Lageveränderungen des freien Endes des Muskels darstellen, denn der Schreibhebel bewegt sich hier während eines großen Teils der Kurve ganz frei.

δ. Endlich kann man den mit Gewichten belasteten Hebel durch eine Flachfeder ersetzen und die Kontraktion des Muskels registrieren, wenn dieser, von einer bestimmten Anfangsspannung ausgehend, sich gegen einen

Widerstand kontrahiert, dessen Größe im Verlaufe der Kontraktion immer mehr zunimmt (auxotonische Zuckung).

Bei allen diesen Versuchen kann man der Einfachheit wegen den Muskel in der früher (S. 226) erwähnten Weise direkt reizen.

B. Die Arbeitsgröße bei verschieden großer Belastung.

Man reizt den isolierten Muskel direkt mit einzelnen, maximalen Induktionsschlägen und registriert jede Kontraktion am stillstehenden Zylinder. Nach jeder Kontraktion verschiebt man den Zylinder um 2—4 mm und wechselt die Belastung. Um Schleuderung zu vermeiden, muß diese hier möglichst nahe der Achse angebracht werden.



Figur 236. Muskelzuckungen bei verschiedener Belastung.

Man fängt mit einem sehr kleinen Gewicht (1 g) an und nimmt allmählich immer höhere (2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 1000 g). Bei jeder größeren Belastung wird der Muskel immer mehr verlängert, und der Versuch hat also etwa das in Figur 236 wiedergegebene Aussehen. Nachdem die höchste hier in Betracht kommende Belastung geprüft worden ist, macht man die Reihe in umgekehrter Ordnung, und hat also bei jeder Belastung zwei Kontraktionen, aus denen man dann den Mittelwert berechnet.

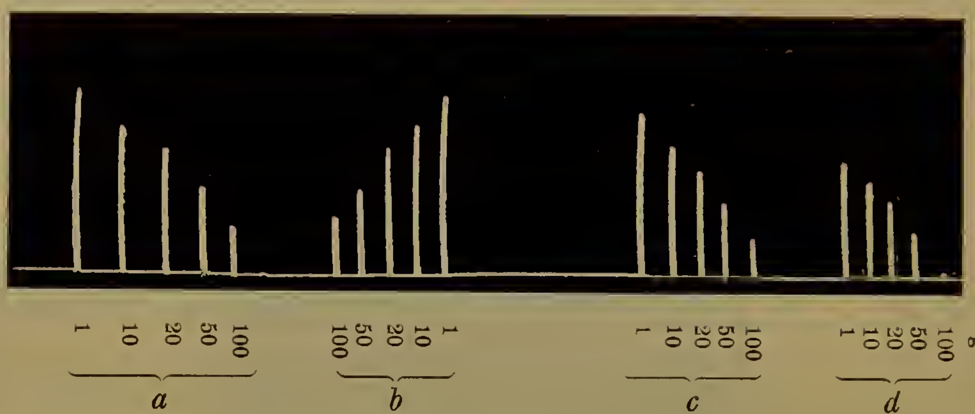
Bei diesen Versuchen wird indessen der Muskel ganz übermäßig gedehnt und also viel mehr verlängert, als dies im wirklichen Leben je der Fall ist, da ja die Lagebeziehungen der Muskeln zu den Knochen jede größere Verlängerung verhindern.

Es ist daher notwendig, die jetzt erwähnte Reihe mit einer anderen zu vervollständigen, wo sich der Muskel immer von seiner natürlichen Länge

ohne Belastung kontrahieren kann (Überlastungs-Zuckungen). Dies findet in der Weise statt, daß man unterhalb des Muskelhebels eine Stütze anbringt, welche jede Dehnung des Muskels verhindert.

Nun macht man ganz wie vorher die auf- und absteigende Arbeitsreihe mit Belastung mit verschiedenen Gewichten und berechnet die solcherart ausgeführte Arbeit, welche der unter normalen Verhältnissen bei Veränderungen der Belastung ausgeführten ziemlich nahe entspricht (vgl. Fig. 237).

Man kann noch weiter gehen und unter Anwendung des Überlastungsverfahrens untersuchen, wie sich die Muskelarbeit gestaltet, wenn der Muskel nur dann die Belastung angreift, sobald er schon zu einem größeren



Figur 237. Überlastungszuckungen mit demselben Muskel wie in Figur 236. Bei *a* und *b* war der Muskel einfach unterstützt, bei *c* und noch mehr bei *d* mußte sich der Muskel in einem gewissen Umfange zusammenziehen, bevor er die Belastung angreifen konnte.

oder geringeren Grade verkürzt ist. Dabei verfährt man genau so wie im soeben erwähnten Falle, indessen mit dem Unterschied, daß man, nachdem die Stütze der Ruhelänge des Muskels entsprechend eingestellt ist, durch vorsichtiges Senken der oberen Muskelklemme den Muskel zwingt, sich unbelastet zu kontrahieren, bis er sich so weit verkürzt hat, daß er die Belastung angreifen kann.

Auch hier steigert man die Belastung, bis der Muskel das Gewicht nicht mehr heben kann, und macht dann die rückgängige Reihe durch (Schwanns Versuch).

Es ist zweckmäßig, diesen Versuch an dem noch mehr erschlafften Muskel zu wiederholen, um sich davon zu überzeugen, daß das Maximalgewicht, welches der Muskel eben noch heben kann, um so kleiner wird, je mehr sich der Muskel kontrahieren muß, ehe er die Belastung angreift.

VI. Die Ermüdung beim Froschmuskel.

Man registriert die Zuckungen des mit einem mittelgroßen Gewicht belasteten isolierten Froschmuskels an einem sehr langsam rotierenden

Zylinder und reizt ihn mit maximalen Öffnungsinduktionsschlägen (die Schließungsinduktionsschläge werden abgeblendet).

Es ist von Interesse, die Länge der Pausen zu variieren, indem sich der Gang der Ermüdung bei verschiedenem Rhythmus nicht unwesentlich verschieden gestaltet. An einem Präparat macht man also eine Reizung jede Sekunde, an einem anderen jede 2., an einem dritten Präparat jede 5. Sekunde.

In einer anderen Versuchsreihe studiert man die durch die Ermüdung bewirkten Veränderungen des Zuckungsverlaufes. An einem Zylinder mit festsitzendem Kontaktunterbrecher registriert man zu diesem Zwecke bei ziemlich schnellem Gange etwa jede 10. Kontraktion, indem man bei den 9 übrigen den Schreibhebel von dem Zylinder abhebt. Nach jeder registrierten Zuckung wird der Zylinder etwas verschoben, und man bekommt in solcher Weise eine Anzahl von Zuckungen, welche die verschiedenen Stufen der Ermüdung charakterisieren.

Nachdem der Umfang der Kontraktionen auf ein Minimum abgenommen hat, läßt man den Muskel in der feuchten Kammer eine halbe Stunde ruhen. Bei dem wieder fortgesetztem Versuch kann man sich von dem durch die Ruhe gewonnenen Grade der Erholung unterrichten.

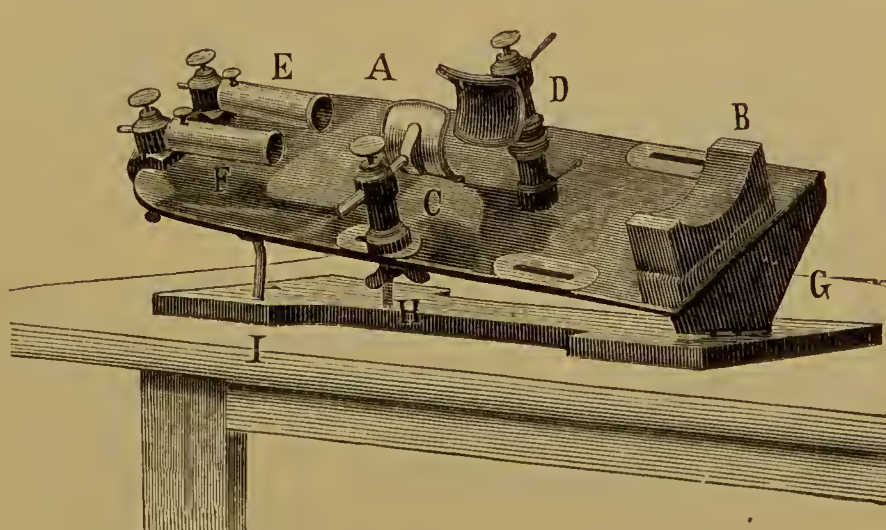
VII. Versuche über die Arbeitsleistung des Menschen.

Zu diesem Zwecke sind vor allem der Fingerergograph von Mosso und der für die Muskulatur der beiden Arme konstruierte Ergograph von Johansson zu erwähnen.

A. Mossos Ergograph.

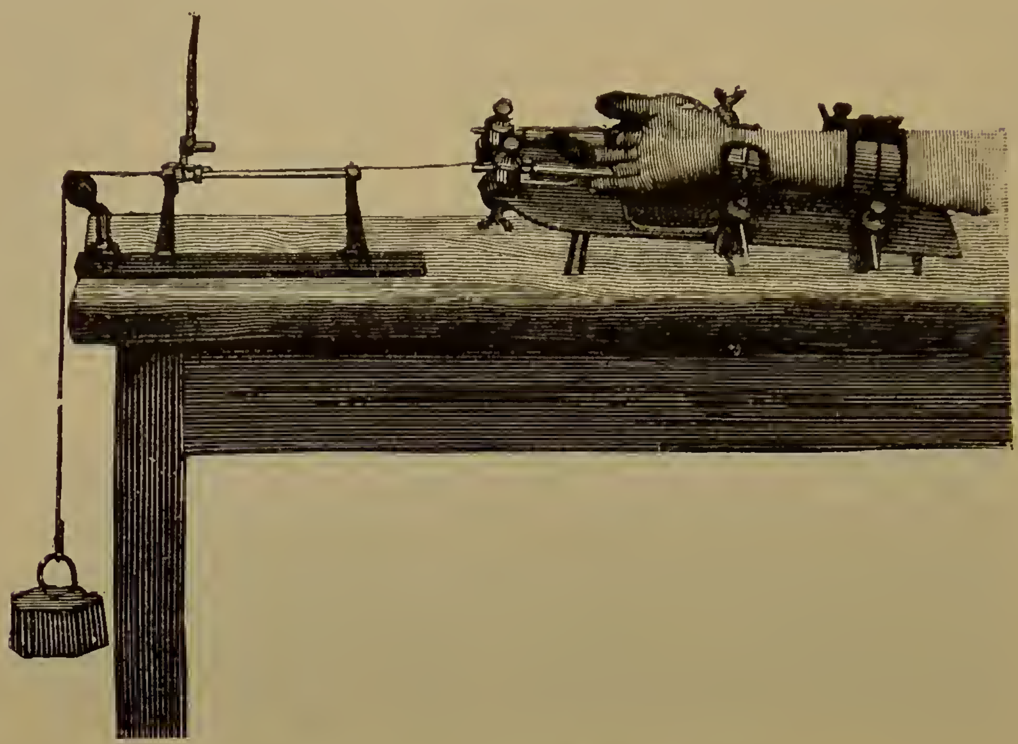
1. Beim Ergographen von Mosso wird die Arbeit durch den Flexor digiti III geleistet. Der Arm wird auf einer Unterlage so fest fixiert, daß die übrigen Muskeln der Hand und des Unterarmes den ermüdenden Beuger des Mittelfingers nicht unterstützen können.

Dies wird (Fig. 238) durch zwei Holzschienen *C* und *D*, welche das Handgelenk von beiden Seiten angreifen, und durch zwei Fingerhülsen *E*, *F*, die den 2. und 4. Finger fixieren, erreicht. Zur



Figur 238. Mossos Ergograph, die Fixationsvorrichtung.

weiteren Sicherung der Lage des Armes dienen ähnliche, unterhalb des Ellbogens angebrachte Holzschienen (vgl. Fig. 239).



Figur 239. Mossos Ergograph, Totalansicht.

Die Kontraktionen des Mittelfingers werden mittels des aus Figur 239 ersichtlichen Schreibapparats auf einen sehr langsam rotierenden Zylinder registriert.

Die Belastung des Mittelfingers bei der Arbeit mittels dieses Ergographen beträgt im allgemeinen etwa 6 kg.

B. Johanssons Ergograph.

Der Ergograph von Johansson ist für Arbeit mit großen Muskelmassen bestimmt, und zwar kann die Belastung hier bis auf 100 kg gesteigert werden.

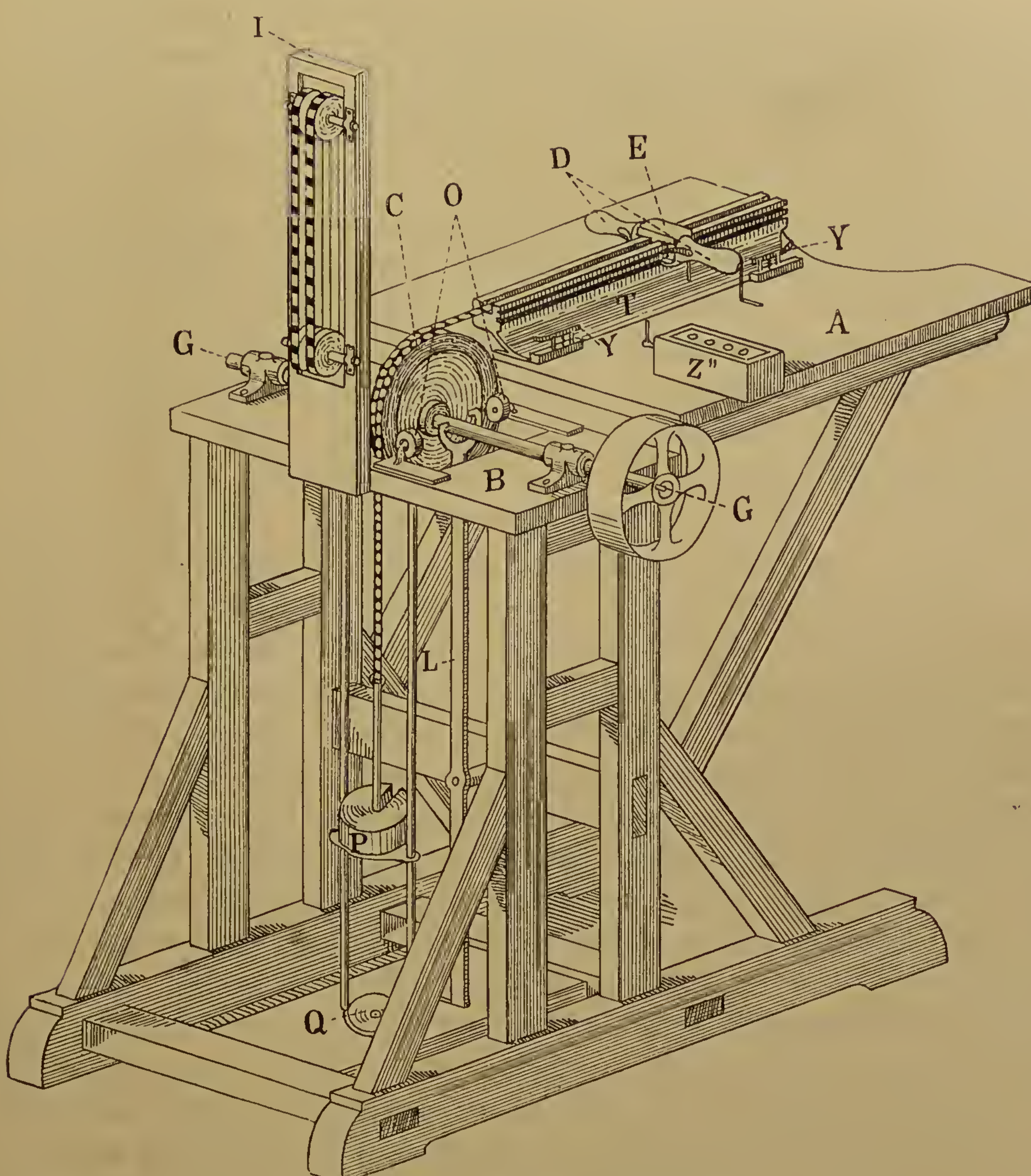
Die Achse *GG* (Fig. 240) trägt die Scheibe *O*, an welcher zwei Ketten (Fahrradketten) befestigt sind. Die eine *C* steht mit dem Handgriff *D* in Verbindung, die andere trägt die Platte *Q*, auf welche verschieden schwere Bleigewichte von der aus *P* ersichtlichen Form angebracht werden können.

Die Versuchsperson faßt den Griff *D* mit beiden Händen und soll das Gewicht entweder so hoch wie möglich oder auf eine gewisse vorher bestimmte Höhe heben. Der Umfang des Hubes kann sowohl mittels eines am Apparat befestigten Zählers als auch mittels eines in die Figur nicht aufgenommenen Schreibhebels registriert werden.

Bei der Arbeit mit diesem Apparat soll die Versuchsperson wenn möglich nur mit der Muskulatur der oberen Extremitäten arbeiten und die

Teilnahme der Rückenmuskeln dabei vermeiden. Um die richtige Körperhaltung zu sichern, ist es zweckmäßig, einen Schild aus Zelluloid mittels eines um den Nacken angelegten Bandes vor der Brust anzubringen.

Auch kann dieser Apparat für isometrische Arbeit eingerichtet werden, indem man an der Kette statt des Gewichts eine starke Federwage



Figur 240. Johanssons Ergograph.

(Salters spring balance mit einer Spannung bis zu 200 kg) anbringt. Hierbei werden die Exkursionen so klein, daß sich die Muskeln nur ganz wenig verkürzen können, statt dessen aber ihre Spannung wesentlich vergrößern. Die Kontraktionen werden mittels einer Schreibvorrichtung in vergrößertem Maßstabe registriert.

C. Versuche über die Arbeitsleistung.

Bei der Arbeit mit dem Mossoschen Ergographen kommt nur die Leistung einer ganz kleinen Muskelmasse in Betracht. Daher läßt sich unter seiner Anwendung allerdings eine Menge Erfahrungen über den Einfluß mehrerer Variabeln auf die Muskelarbeit gewinnen: die Art und Weise, wie die Muskelarbeit auf die großen Funktionen des Körpers einwirkt, kann aber damit kaum studiert werden, denn zu diesem Zwecke ist die damit zu leistende Gesamtarbeit — während einer Reihe bis zu vollständiger Erschöpfung nur wenige Kilogramm-Meter — doch gar zu gering.

In dieser Hinsicht ist ihm der Apparat von Johansson weit überlegen, weil damit, wegen der an der Arbeit teilnehmenden großen Muskelmassen, eine wirklich bedeutende Arbeitsleistung erzielt werden kann.

Um ganz sichere Resultate in bezug auf die Art und Weise, wie die Arbeitsleistung bei Variationen der Belastung, des Arbeitsrhythmus usw. variiert, zu erhalten, muß die Versuchsperson für die betreffende Arbeit vorher gut trainiert sein.

Die Erfahrung zeigt indessen, daß bei einer Tag für Tag wiederholten Arbeitsleistung die Leistungsfähigkeit von dem einen Tag zum andern immer mehr ansteigt, so daß es mehrere Wochen lang dauert, bis die Übung soweit fortgeschritten ist, daß nunmehr der Einfluß verschiedener, hier in Betracht kommender Variabeln in quantitativer Hinsicht einigermaßen exakt festgestellt werden kann. Dies ist bei allen hierher gehörigen, streng wissenschaftlichen Untersuchungen genau zu beachten.

Bei Versuchen in dem physiologischen Praktikum kann von einer derartigen Übungszeit keine Rede sein. Da aber anderseits direkte, durch eigene Versuche gewonnene Erfahrungen über die Bedingungen für die größte Arbeitsleistung doch für den künftigen Arzt sehr wünschenswert sind, sollten die hierhergehörigen Versuche nicht vom Praktikum ganz ausgeschlossen werden. Man muß sie aber, gerade weil sie an verhältnismäßig ungeübten Individuen ausgeführt werden, in der Weise anordnen, daß aus ihnen die großen Züge, wenn auch nicht quantitativ genau, doch hervortreten.

Diese Versuche lassen sich in ganz derselben Weise mit dem Ergographen von Mosso und dem von Johansson ausführen; nur muß man bei Versuchen mit dem letzteren sorgfältig beachten, daß man nicht durch eine zu große Belastung die Versuchsperson überbürdet.

In erster Linie hat man zu untersuchen, wie sich die Leistungsfähigkeit bei konstantem Rhythmus und variierender Belastung verhält. Damit die Versuche nicht allzuviel Zeit beanspruchen sollen, wählt man hier den Rhythmus ziemlich schnell, z. B. eine Kontraktion jede zweite Sekunde.

Die Zeit wird durch ein Metronom angegeben. Belastung bei Mosso anfangs 2 kg — der Versuch wird fortgesetzt, bis die Kontraktionen ganz klein werden.

Dann eine Pause von $1/2$ Stunde und Wiederholung des Versuchs mit einer Belastung von 4 kg. Auch jetzt wird der Versuch bis zur völligen Ermüdung des Muskels geführt. Wieder eine Pause von $1/2$ Stunde. Nun wird eine Belastung von 6 kg geprüft. Wenn die Versuchsperson dies vermag, sollte in derselben Weise die Arbeitsleistung bei einer noch höheren Belastung geprüft werden.

Es ist nun selbstverständlich, daß sich in den späteren Versuchsperioden der Einfluß der aus den vorhergehenden herrührenden Ermüdung geltend machen kann, da es ja nicht erwiesen ist, daß die Ruhepause von $1/2$ Stunde genügt, um die Muskeln vollständig ausruhen zu lassen. Um diesen Einfluß der Ermüdung zu eliminieren, wiederholt man den Versuch sogleich in umgekehrter Reihenfolge, indem man immer mit Ruhepausen von $1/2$ Stunde die vollständige Ermüdungskurve bei 6, 4 und 2 kg Belastung schreibt.

Die bei jeder Reihe erzielte Summe der Hubhöhen durch die Belastung multipliziert lehrt uns kennen, welche Belastung die günstigsten Arbeitsresultate ergeben hat.

Auch ist die Zahl der in jeder Reihe ausgeführten Kontraktionen, sowie die Höhe der größten Kontraktion in jeder Reihe, und wie die Kontraktionsgröße in den verschiedenen Reihen bei zunehmender Ermüdung abfällt, zu beobachten.

Bei entsprechender Arbeit mit dem Ergographen von Johansson würde man Belastungen von etwa 15, 25, 35, 45 kg wählen.

Nachdem man also durch diese Versuchsreihe ermittelt hat, welche Belastung bei dem gegebenen Rhythmus das beste Arbeitsresultat gibt, macht man am folgenden Tage Versuche über den Einfluß des verschiedenen Rhythmus, indem man die günstigste Belastung jetzt in verschiedenem Rhythmus hebt, und zwar in jeder Reihe wieder bis zur Erschöpfung. Man wähle z. B. folgenden Rhythmus: 1 Kontraktion jede zweite, vierte, achte und zehnte Sekunde und mache dann dieselbe Reihe in umgekehrter Ordnung durch. Dann bekommt man Aufschluß darüber, wie groß das Intervall zwischen zwei Kontraktionen sein soll, damit der Muskel am längsten arbeitsfähig bleibt.

In einer dritten Reihe untersucht man den Einfluß der Länge der Ruhepause. Man benutzt auch hier die günstigste Belastung, wähle aber den ungünstigsten Rhythmus, damit die bei langsamerem Rhythmus zwischen je 2 Kontraktionen zum Teil erfolgende Erholung ausgeschlossen sei. Man führt die Kontraktionen bis zu völliger Ermüdung aus, schaltet dann eine Ruhepause von 15 Minuten ein; wiederholt den Versuch, jetzt aber mit nachfolgender Ruhepause von 30 Minuten, und setzt den Versuch in dieser Weise fort, bis eine Ruhepause gefunden wird, die eine vollständige Erholung gestattet.

Man kann den Versuch auch so variieren, daß die Kontraktionen nicht bis zur völligen Erschöpfung getrieben werden, indem man in jeder Periode mit der Arbeit aufhört, sobald man das Gewicht nicht mehr über

eine gewisse, vorher bestimmte und jedenfalls nicht zu niedrige Höhe heben kann. Bei dieser Arbeitsart untersucht man in der vorher dargestellten Weise den Einfluß verschieden langer Ruhepausen und kann nun konstatieren, daß sich die Muskeln viel schneller erholen und auf die Dauer eine wesentlich größere Arbeit leisten, als wenn sie bis zur völligen Erschöpfung arbeiten mußten.

Man stelle noch folgende Versuche an. Bei einigen untereinander zu vergleichenden Reihen ist die Ausdauer der Muskeln zu untersuchen, wenn sich diese in einem und demselben Rhythmus kontrahieren und bei jeder Kontraktion eine gleichgroße Arbeit leisten, aber zu gleicher Zeit Hubhöhe und Belastung in umgekehrter Proportion wechseln.

Es ist ja die Arbeit gleich groß, wenn 20 kg auf eine Höhe von 50 cm oder 40 kg auf eine Höhe von 25 cm erhoben werden.

Man macht also die Versuche so, daß man am Apparat einen Dorn oder Zwinger befestigt, der gerade angibt, bis zu welcher Höhe in der gegebenen Reihe das Gewicht gehoben werden muß (z. B. 40 cm), um der bestimmten Arbeit zu entsprechen, und setzt nun, z. B. bei 20 kg Belastung, die Arbeit so lange fort, bis es nicht mehr möglich ist, die Belastung genügend hoch zu heben.

Dann eine Pause von 1 Stunde. Wiederholte Arbeit bei einer Belastung von 40 kg und Hubhöhe von 20 cm. Dann Ruhepause wie vorher. Endlich, wenn die Kräfte der Versuchsperson es gestatten, Arbeit bei 50 kg Belastung und Hubhöhe von 16 cm. Ruhepause; Wiederholung des Versuches in umgekehrter Reihenfolge.

Für die Auffassung der normal im Körper stattfindenden rhythmischen Muskelbewegungen, wie die der Atemmuskeln und des Herzens, ist folgende Versuchsanordnung sehr aufklärend. Man läßt die Versuchsperson eine gewisse Belastung im Rhythmus einer Kontraktion jede vierte Sekunde heben und damit solange fortsetzen, bis die ursprüngliche Hubhöhe nicht mehr erreicht werden kann. Dann unterbricht man den Versuch nicht, sondern vermindert nur die Belastung um soviel, daß die ursprüngliche Hubhöhe wieder erreicht wird. Wenn die Hubhöhe aufs neue beginnt abzunehmen, vermindert man wieder die Belastung und setzt den Versuch in derselben Weise fort, bis man allmählich zu einer Belastung (dem Endmaximalgewicht von Treves) gelangt, bei welcher die Arbeit im gegebenen Rhythmus unbegrenzt lange fortgesetzt werden kann.

Es kann ja nicht die Rede davon sein, daß jeder Teilnehmer in einem Praktikum alle diese Versuchsreihen machen sollte. Vielmehr sind sie in zweckmäßiger Weise auf mehrere zu verteilen. Die Versuche werden dabei natürlich nicht so beweisend, als wenn sie alle an einer und derselben Versuchsperson ausgeführt werden würden; die Resultate treten indessen doch so scharf hervor, daß sie als Illustration zu den aus größeren Versuchsreihen, an wirklich geübten Individuen gewonnenen Ergebnissen sehr gut dienen können, und mehr darf man von einem derartigen Versuch ja nicht verlangen.

VIII. Zwei Versuche zur speziellen Muskelphysiologie.

Die Aufgaben der speziellen Muskelphysiologie sind für eine experimentelle Behandlung so kompliziert, daß sie nur in einem ganz kleinen Umfange einen Platz beim physiologischen Praktikum beanspruchen können, und auch in der physiologischen Vorlesung können wohl in der Regel keine Versuche vorgeführt werden, die anders sind als Demonstrationen von Modellen bzw. von anatomischen Präparaten. Ich werde mich daher hier nur auf ein paar Versuche beschränken müssen, die für die Auffassung der Wirkungsweise der Muskeln sehr aufklärend sind.

A. Die Wirkung eines Muskels auf ein Gelenk, über welches er gar nicht hinweg zieht.

Ein Frosch wird in gewöhnlicher Weise getötet, die Haut der Hinterextremitäten wegpräpariert und die Muskulatur bloßgelegt. Dann werden die Muskeln des Oberschenkels wegpräpariert, und von den Muskeln des Unterschenkels nur der M. gastrocnemius zurückgelassen. Das Präparat wird mittels einer Klemme am Rückgratsrest festgehalten, auf ein Stativ gehängt und der Muskel mit dünnen kupfernen Elektroden armiert. Bei der tetanisierenden Reizung des Muskels sieht man, wie der Fuß plantar flektiert und gleichzeitig der Oberschenkel im Hüftgelenk nach vorn gedreht wird, d. h. eine Bewegung findet im Hüftgelenk bei der Kontraktion eines Muskels statt, der über dieses Gelenk gar nicht hinweg zieht.

In ähnlicher Weise wird die alleinige Wirkung des M. tibialis ant. long. untersucht.

B. Der Ritter-Rollettsche Versuch.

Man tötet einen Frosch, zieht die Haut ab, legt den Ischiadicus frei, präpariert die Muskeln des Oberschenkels weg, läßt aber die des Unterschenkels und Fußes unversehrt und befestigt das Femur an einem Stativ, so daß der Unterschenkel senkrecht herabhängt.

Nun reizt man den Ischiadicus mit frequenten Induktionsströmen und fängt bei einem Rollenabstand an, wo noch keine Zuckungen ausgelöst werden. Unter stetiger Reizung nähert man die sekundäre Rolle der primären: die erste Wirkung, die dann auftritt, ist ein Krampf der Beugemuskeln; bei weiterer Annäherung der sekundären Rolle an die primäre erscheint ein Krampf der Streckmuskeln. Je nach der Stärke der Reizung verändert sich also die Richtung, in welcher der Fuß beim Krampf bewegt wird.

VIERZEHNTES KAPITEL.

Die sensorischen Funktionen der Haut.

I. Die Empfindungen von Wärme und Kälte.

Einfache Versuche über die Wärme- und Kälteempfindungen lassen sich durch Eintauchen eines Körperteils in Wasser von verschiedener Temperatur ausführen. In dieser Weise kann man z. B. untersuchen, wie die Stärke der Temperaturempfindung von der Größe der gereizten Hautregion abhängig ist, indem man einmal ein Finger, das andere Mal die ganze Hand für eine gleichlange Zeit in Wasser von etwa 37—40° C taucht; oder die eine Hand in mäßig kaltes Wasser hält und die andere ruckweise eintaucht; oder die eine Hand zuerst in warmes Wasser hält und dann beide Hände in kaltes Wasser bringt.

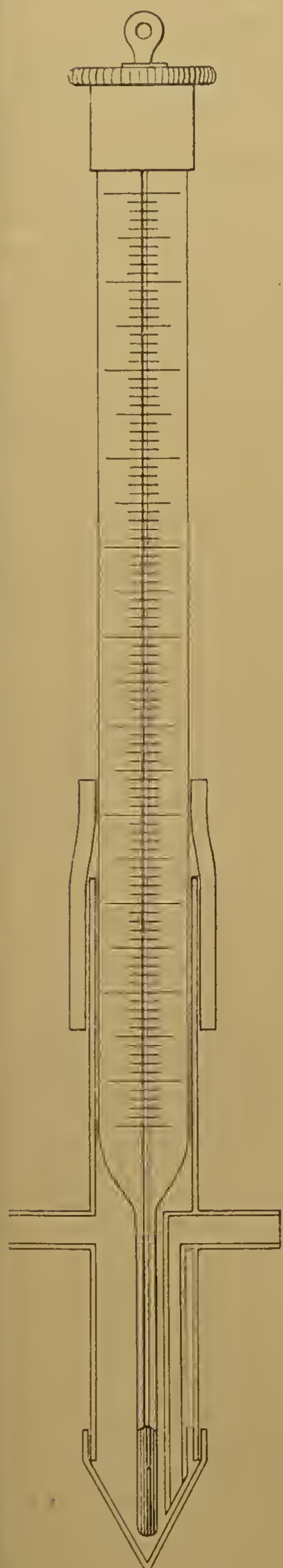
Hierher gehört auch der Webersche Versuch: man bringt die Stirnhaut mit einem Metallstück von etwa 2° C Temperatur in Berührung und nimmt es nach etwa 30 Sekunden weg; es gilt die Nachwirkung zu beobachten.

Daß die Wärme- und die Kälteempfindungen von verschiedenen Punkten aus ausgelöst werden, läßt sich in einfacher Weise dadurch nachweisen, daß man einen stumpfen Gegenstand, z. B. eine gewöhnliche, in einen Federhalter eingesetzte Schreibfeder mit mittelstarker Spitze unter Vermeidung jedes Druckes längs des Handrückens führt; wenn die Feder erwärmt wird, fühlt man an gewissen Punkten Wärme, an anderen nicht; bei nichterwärmter Feder, die sich wegen des guten Wärmeleitungsvermögens des Stahles kalt anfühlt, empfindet man desgleichen an gewissen Stellen Kälte, an anderen nicht.

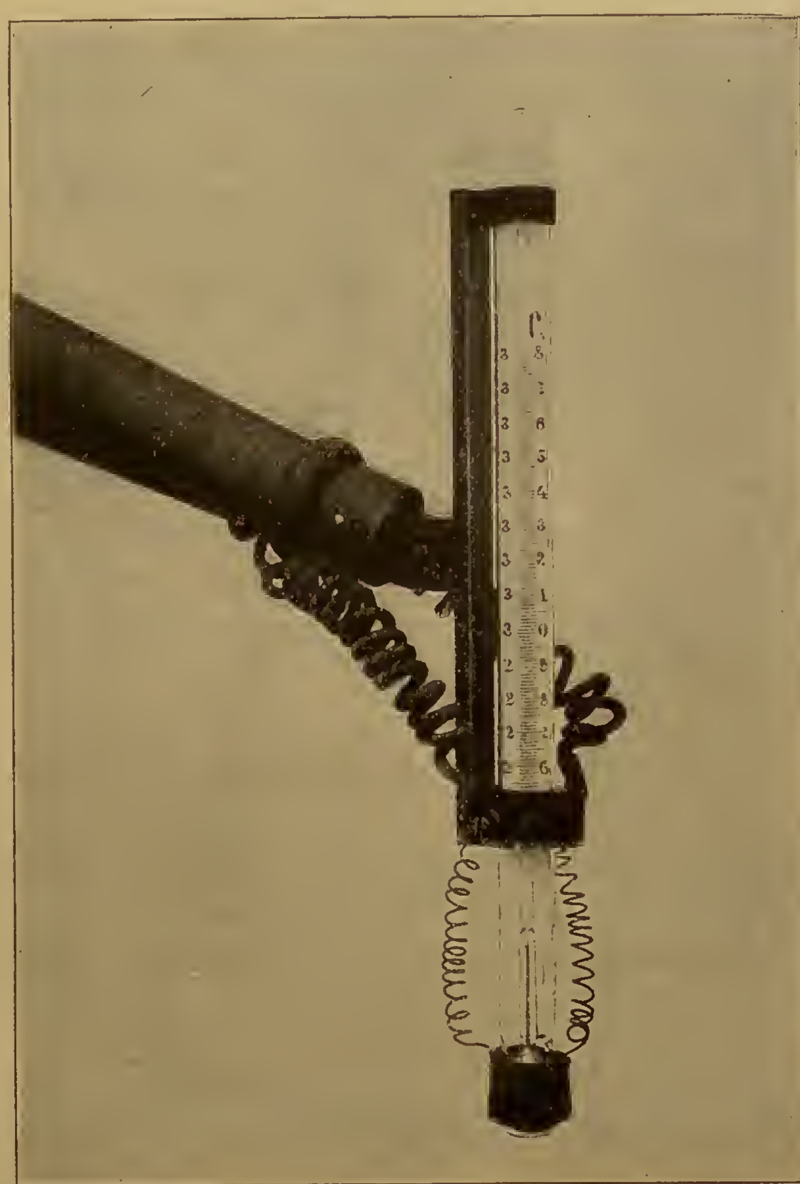
Um die Lokalisation der Wärme- und der Kältepunkte näher zu bestimmen, benutzt man meistens den Konus von Blix, dessen Konstruktion aus der Figur 241 ohne weiteres ersichtlich ist. Man leitet durch den Konus Wasser von geeigneter Temperatur und prüft an dem zu untersuchenden Bereich der Haut den einen Punkt nach dem anderen, zuerst mit dem Wärmereiz, dann mit dem Kältereiz, und bezeichnet die empfindlichen Punkte direkt auf der Haut mit verschiedener Farbe. Die Temperatur des Konus soll beim Aufsuchen der Wärmepunkte etwa 40° C und beim Aufsuchen der Kältepunkte weniger als 10° C betragen.

Zu diesen Versuchen wählt man eine Hautstelle von etwa 2 cm im Quadrat und prüft sie wiederholt, um alle Temperaturpunkte zu finden.

Nachdem man in dieser Weise einige Temperaturpunkte bestimmt hat, reizt man einen Wärmepunkt, bzw. einen Kältepunkt unipolär, indem man auf diesen die Spitze einer feinen Nadel bringt, der die eine Elektrode eines Induktionsstroms darstellt; die andere, große Elektrode hält man z. B. an den Nacken oder in der Hohlhand. Es zeigt sich, daß auch diese, nicht adäquate Reizung die betreffende Empfindung



Figur 241. Apparat von Blix für die Reizung der Wärme- und Kältepunkte, nach v. Frey.



Figur 242. Apparat zur Untersuchung der Reizschwelle bei Wärmereizung.

auslöst. Auch durch mechanische Reizung, Stoß auf einen Temperaturpunkt mittels eines etwas zugespitzten Zündhölzchens, lassen sich die Temperaturpunkte ansprechen.

Die Reizung der Kältepunkte mit dem auf etwa 45° C und höher erwärmten Konus ruft eine Kälteempfindung hervor; auch beim Eintauchen der Hand in Wasser von etwas über 40° C hat man im ersten Augenblicke eine Kälteempfindung.

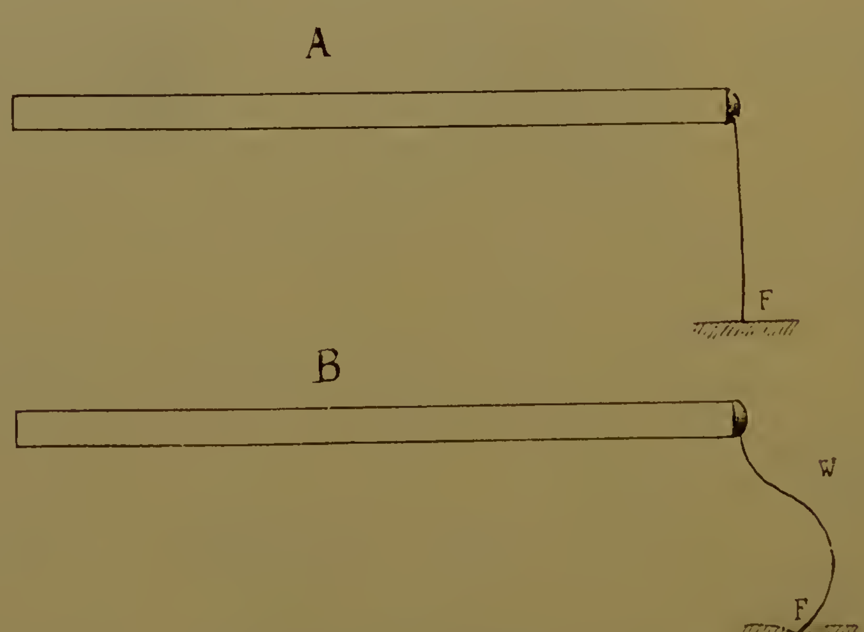
Die Empfindlichkeit verschiedener Hautbezirke für Wärme läßt sich mittels der in Figur 242 abgebildeten Vorrichtung untersuchen. Die Thermometerkugel ist unten flach abgeschliffen und hat einen Durchmesser von 0.8 cm. Durch den um ihn gewickelten isolierten Kupferdraht, der unter Einschaltung eines Lampen- und Rheostatenwiderstandes mit der Starkstromleitung verbunden ist (vgl. oben S. 29), kann das Thermometer auf eine beliebige Temperatur erwärmt werden. Nachdem diese Temperatur konstant geworden ist, drückt man die Kugel während etwa 1 Sekunde gegen die zu untersuchende Hautstelle, wobei die Versuchsperson anzugeben hat, ob sie Wärme empfindet oder nicht. Im ersten Falle wird die Temperatur des Thermometers durch Einschaltung eines größeren Widerstandes herabgesetzt, im zweiten dagegen durch Verminderung des Widerstandes erhöht und dann weiter geprüft, bis man die Temperatur erreicht, die eben merkbar warm ist.

Da die Temperatur der Haut je nach der Temperatur der Umgebung variiert und auch der Nullpunkt der Empfindung dabei verschoben wird, muß die Temperatur in der Umgebung bei solchen Versuchen möglichst konstant sein.

Man prüft in dieser Weise teils die Empfindlichkeit verschiedener Stellen der unbekleideten Haut, teils untersucht man systematisch Quadratzentimeter nach Quadratzentimeter einen bestimmten Hautbezirk, z. B. die Wangenregion zwischen dem unteren Augenlid, Nasenrücken, Kinn und Ohr.

II. Die Druckempfindungen.

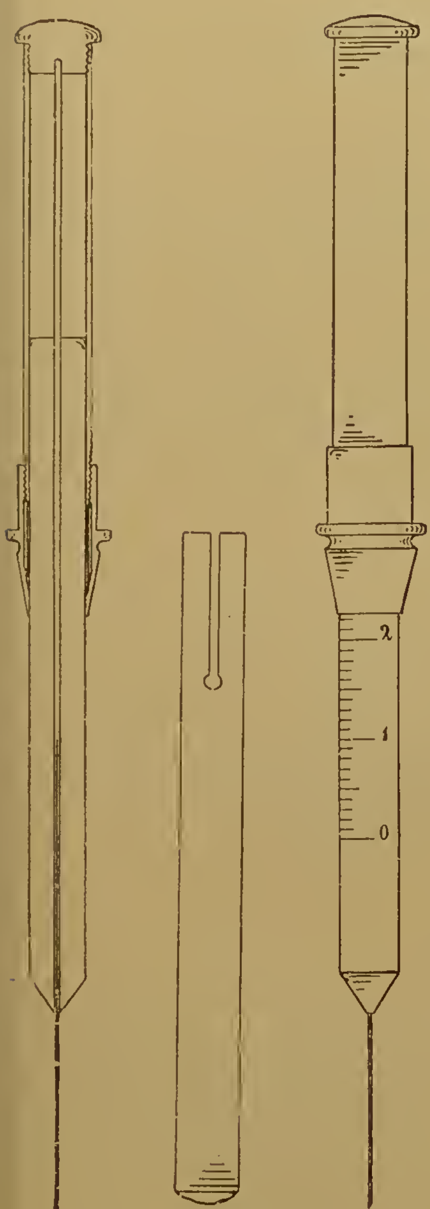
Daß ein gleichförmiger Druck keine Empfindung hervorruft, folgt daraus, daß wir den Druck der Atmosphäre nicht fühlen, sowie daraus, daß man beim Eintauchen der Hand in ein Gefäß, das mit auf indifferente Temperatur



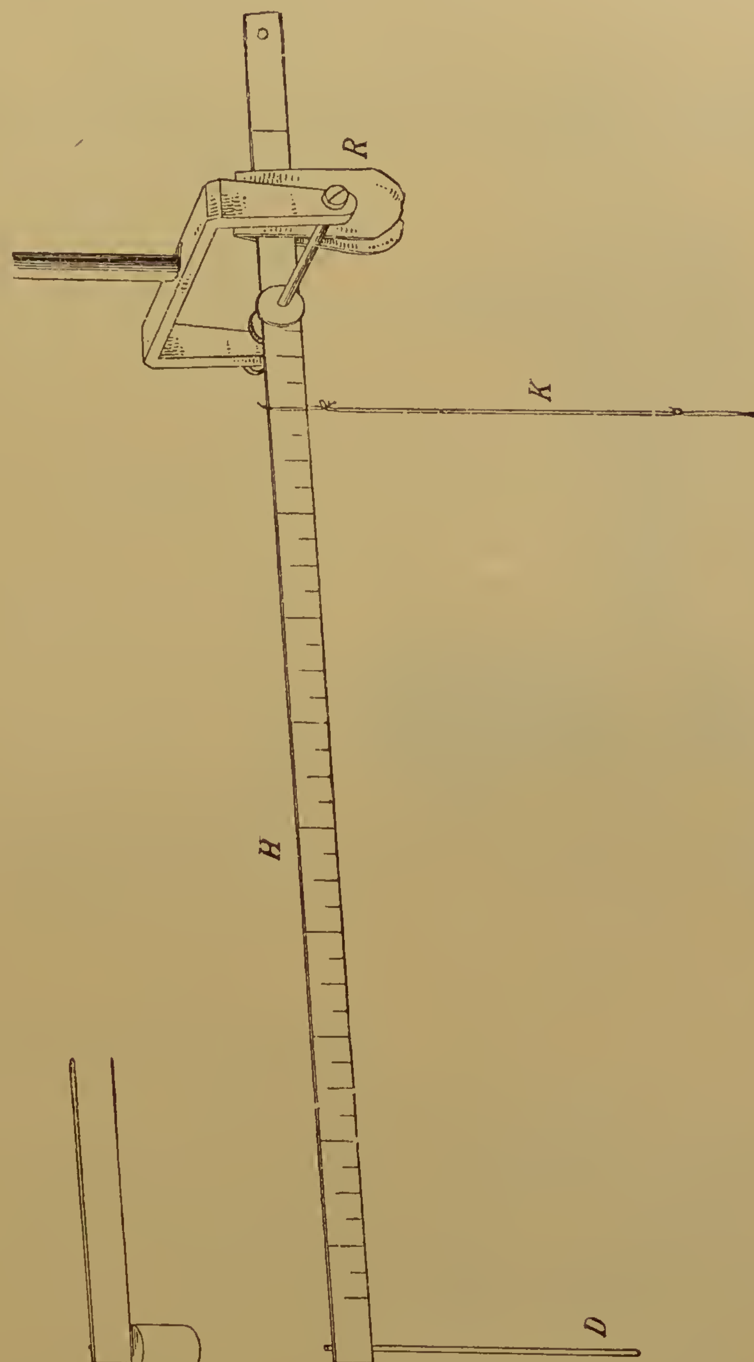
Figur 243a. Reizhaar, nach v. Frey.

erwärmtes Quecksilber gefüllt ist, nur an der Grenze zwischen Luft und Quecksilber eine Druckempfindung hat.

Zur Aufsuchung der einzelnen Druckpunkte benutzt man die Reizhaare v. Freys (Fig. 243a). Diese bestehen aus einem Holzstäbchen als Handgriff und einem recht- oder stumpfwinklig daran befestigten Haare. Wird das Haar auf die zu untersuchende Haut, senkrecht zu deren Oberfläche, aufgestoßen, so kann die Einwirkung über einen



Figur 243b. Haarästhesiometer, nach v. Frey.



Figur 244. Hebel für andauernde Belastung, nach v. Frey.

gewissen Höchstwert nicht hinausgehen. Diese Kraft wird dadurch bestimmt, daß man mit dem Reizhaar an die eine Schale einer Wage drückt und die andere Schale so weit belastet, bis sich das Haar biegt (Fig. 243a, *B*). Das dabei erreichte Grenzgewicht stellt natürlich die Kraft des Haares dar. Ferner bestimmt man durch Mikroskop und Okularmikrometer den Querschnitt der Reizhaare und erhält dann durch Division in die Kraft den Druck auf die Flächeneinheit. Nähere Untersuchungen über

diesen Gegenstand haben ergeben, daß da, wo die Reizung der einzelnen Druckpunkte möglich ist, die eindeutige Maßeinheit vom Verhältnis der Kraft zum Radius der wirkenden Fläche dargestellt wird.

Da jedes Reizhaar nur einen einzigen Reizwert besitzt, ist zu Versuchszwecken die Anfertigung eines Satzes derselben erforderlich. Zu diesen Zwecken kann man Haare von verschiedener Länge und verschiedenem Durchmesser benutzen. Im allgemeinen genügt ein Satz von 5 Haaren mit den Spannungswerten 1, 2, 4, 8 und 16 g pro Millimeter Radius. Auch kann man dazu ein einziges Haar benutzen, welches mittels eines daran befestigten Drahtes verschieden weit aus einer Hülse hervorgeschoben werden kann (Fig. 243 b). — Statt der Haare können Borsten oder feine Glasfäden verwendet werden.

Die Verteilung der Druckpunkte auf der Hautoberfläche wird in der Weise untersucht, daß man innerhalb eines umschriebenen Bezirkes, am besten desjenigen, wo man die Temperaturpunkte bestimmt hat, mit dem Reizhaar verschiedene Punkte abtastet und beobachtet, von welchen her eine deutliche Druckempfindung erhalten wird. An den behaarten Stellen der Haut sind die Druckpunkte im allgemeinen den Haarpapillen zugeordnet, und eine sehr kleine Belastung des Haares (mit einem Papierschnitzelchen) kann eine deutliche Druckempfindung hervorrufen.

Zur Wahrnehmung andauernder Belastungen befestigt man an das äußere Ende eines einarmigen Hebels (Fig. 244) einen Stab *D* oder einen leichten Klotz; nachdem dieser an der Haut angelegt wurde, belastet man den Hebel durch angehängte Gewichte (bei *K*) und beobachtet, wie lange die Belastung noch wahrgenommen werden kann, bzw. wie lange eine Nachempfindung nach Entfernen des Gewichtes noch vorhanden ist.

III. Die Lokalzeichen.

Zur Bestimmung der Lokalzeichen bedient man sich einer in Millimeter geteilten Schublehre mit Spitzen aus Elfenbein oder einem anderen schlechten Wärmeleiter. Man untersucht, welche Distanz zwischen den beiden Spitzen an verschiedenen Stellen der Haut, der Lippen und der Zunge gerade noch wahrgenommen werden kann.

Man fängt die Untersuchung an der Zungenspitze und der Volarseite des letzten Fingergliedes an und geht von da aus über größere oder kleinere Abschnitte der Haut weiter, z. B. Mitte der Hohlhand, Handrücken, die volare oder dorsale Seite des Unterarmes, Mitte des Oberarmes, Mitte des Rückens, Schultergegend, Gesicht. An allen notiert man die kleinste merkbare Distanz. Bei den Extremitäten soll man diese sowohl in Quer- als Längsrichtung untersuchen.

Es ist auch von Interesse, die kleinste merkbare Distanz an einer Hautstelle zu untersuchen, wo die einzelnen Druckpunkte schon bestimmt sind.

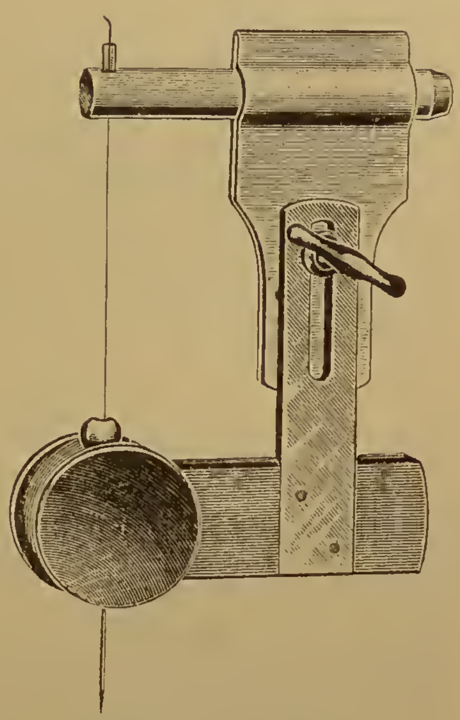
und hier die beiden Zirkelspitzen direkt an zwei verschiedene Druckpunkte anzulegen.

Endlich empfiehlt es sich, an einigen Stellen die Unterschiedsempfindlichkeit zu untersuchen, einmal, wenn die beiden Spitzen gleichzeitig, ein anderes Mal, wenn sie nacheinander auf der Haut angelegt werden.

IV. Die Schmerzempfindungen.

Zum Nachweis der Schmerzpunkte hat v. Frey speziell für Hautflächen geringerer Schmerzempfindlichkeit starke Reizhaare (Pferdehaare), deren Spitze zur Verkleinerung der Wirkungsfläche mit dem Messer zugeschärft war, benutzt. Die Haare waren nach der auf die Flächeneinheit wirkenden Kraft geeicht.

Trotter und Davies benutzen folgende Vorrichtung (Fig. 245). Eine Nadel, die in einer Führung leicht spielt, trägt an ihrem stumpfen Ende ein kleines Bleikügelchen. Dasselbe ist an der der Nadel abgewandten Seite zur Aufnahme des freien Endes eines Reizhaares ausgehöhlt. Wird die Nadel auf die Haut gesetzt, so sucht sie gegen das Haar auszuweichen, findet aber hierbei einen der Kraft des Haares entsprechenden Widerstand, der durch die Nadel auf die Haut übertragen wird. Der Griff des Reizhaares und die Führungshülse der Nadel sind durch ein leichtes Querstück verbunden.



Figur 245. Algesimeter, nach Trotter und Davies.

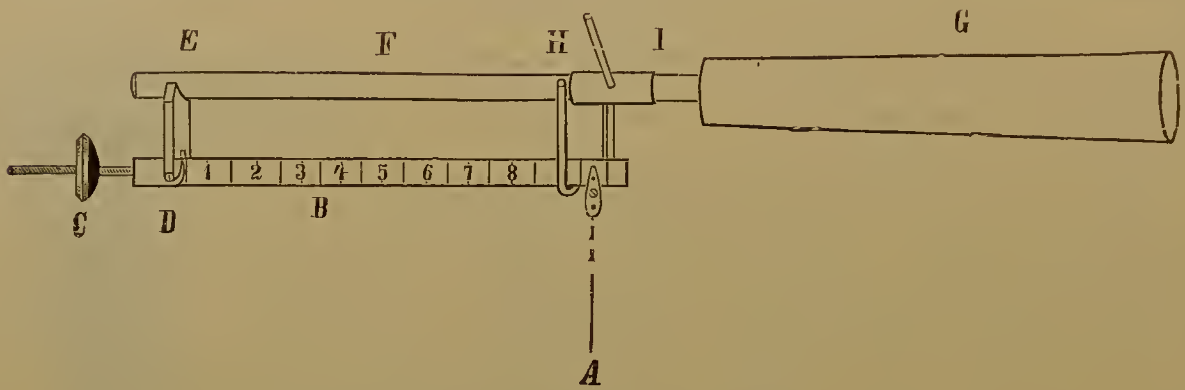
Ein anderes Nadelalgesimeter von Thunberg ist in Figur 246 abgebildet. Es besteht aus einem ungleicharmigen Hebel, mit dessen langem Arm die Nadel gelenkig verbunden ist. Durch ein kleines Laufgewicht kann der von der Nadel ausgeübte Druck abgestuft werden. Bei genügend kleiner Fläche, von 0.001 qmm abwärts, ist der Erfolg unabhängig von der Fläche, so daß die Reizschwellen durch die Belastung der Nadel gemessen werden können.

Zur Untersuchung der durch Wärme hervorgerufenen Schmerzempfindung eignen sich die Reizlamellen Thunbergs sehr vorzüglich. Sie bestehen aus ungleich dicken silbernen Blechen von gleicher Fläche, welche auf Korkstückchen als Handgriffen befestigt sind und durch ein Wasserbad auf konstanter Temperatur, meistens 100° C, gehalten werden. Je nach der Dicke des Metallbleches geben die Lamellen schneller oder langsamer ihre Wärme ab und lassen also die Wärmeveränderung verschieden tief in die Haut eindringen.

Mittels dieser Lamellen kann man die doppelte Schmerzempfindung sehr deutlich demonstrieren.

Wenn man in der früher angegebenen Weise die Temperaturpunkte eines kleinen Hautbezirkes bestimmt hat, kann man nachweisen, daß Einstich einer Nadel in einen solchen keinen Schmerz erzeugt.

Zur Charakteristik der Schmerzpunkte im Vergleich mit den Druckpunkten dient speziell folgender Versuch, der sich auf die Tatsache stützt, daß die Druckpunkte der Haut (Fingerbeere) und der Zunge, wenn sie von den Schwingungen einer elektrisch getriebenen Stimmgabel von einer Schwingungszahl von 100 und mehr pro Sekunde getroffen werden, aller-



Figur 246. Algesimeter, nach Thunberg.

dings nicht jede einzelne Schwingung an und für sich unterscheiden können, dessen ungeachtet aber die einzelnen Reize nicht zu einer stetigen Empfindung zusammengehen lassen, sondern den Eindruck eines Schwirrens bewirken, was ja zeigt, daß die einzelnen Stöße trotz ihrer großen Frequenz dennoch empfunden werden.

Wenn man daher mittels frequenter, durch eine in die primäre Leitung eingeschaltete Stimmgabel von 50 Schwingungen ausgelöster Induktionsströme einen isolierten Druckpunkt reizt, so bekommt man dementsprechend keine stetige Empfindung, sondern hat das schon erwähnte Gefühl von Schwirren. Wird aber die Reizung einem Schmerzpunkt zugeführt, so schmelzen schon einige wenige Reize pro Sekunde zu einem stetigen Eindruck zusammen.

FÜNFZEHNTES KAPITEL.

Die Bewegungsempfindungen.

Zur Untersuchung des Muskelsinnes hat Blix folgende Methode angegeben.

Die Versuchsperson wird in einer bequemen, festen Ausgangstellung plaziert, z. B. auf einen Stuhl mit dem Rücken gegen die Rückenlehne des Stuhles gestützt, oder stehend mit einer festen Stütze für den Rücken. Der Arm hängt vertikal zur Seite nieder. Die Versuchsperson hält einen Bleistift in der Hand. In Armeslänge vor ihr und in gleicher Höhe mit der Schulter wird ein Blatt Papier auf einer vertikalen Tafel oder einem Schirm aufgespannt. Nun muß die Versuchsperson, ohne im übrigen sich zu bewegen, den Arm erheben und die Spitze des Bleistiftes nach einem auf dem Papier im voraus gemachten Zeichen führen und dann den Arm wieder in die Ausgangsstellung zurückführen. Sie hat dann bei geschlossenen Augen dieselbe Bewegung zu wiederholen und zu versuchen, denselben Punkt auf dem Papier zu treffen. Derselbe Versuch wird wieder und wieder angestellt, so daß die Versuchsperson ihre Bewegungen das eine Mal unter der Kontrolle des Gesichtssinnes und das andere Mal ohne diese Hilfe, nur auf die Leistung des Muskelsinnes angewiesen, ausführt. Bei dem letzteren Akt wird sie dann mehr oder weniger weit von dem Zielpunkt deuten und macht jedesmal ein Bleistiftzeichen auf das Papier. Hat sie das Experiment eine genügende Anzahl von Malen wiederholt, so mißt man mit einem Maßstab den Abstand der verschiedenen Zeichen von dem Zielpunkt. Die Summe der gemessenen Abstände wird durch die Anzahl der Versuche dividiert. Der Quotient ist die mittlere Abweichung.

Man führt die Bestimmungen bis zu beginnender Ermüdung aus, was eine Zeit von etwa $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde mit etwa 100 angezeichneten Punkten erfordert. Wenn man den Versuch unter Anwendung eines Papierblockes ausführt und nach je 10 Bewegungen ein neues Blatt nimmt, kann man an den also erhaltenen 10 Blättern den Verlauf der Arbeit verfolgen, indem man an jedem die Entfernung der angegebenen Punkte vom Zielpunkt mißt.

Unter den vielen Täuschungen, welche mit den Tast- und Bewegungsempfindungen zusammenhängen, seien nur folgende hier kurz erwähnt.

Man legt den dritten Finger einer Hand über den zweiten und betastet mit den jetzt gegeneinander gekehrten äußeren Seiten der beiden Finger eine Kugel oder die eigene Nasenspitze. Man bekommt den Eindruck, daß hier zwei Kugeln, bzw. zwei Nasenspitzen vorhanden sind.

Handteller, Mittel-, Ringfinger und kleiner Finger der rechten Hand werden mit der Volarseite fest an die Tischplatte gedrückt, Zeigefinger und Daumen, letzterer in Abduktionsstellung, ragen über den Rand derselben hinaus. Unter die Gegend des Carpus wird eine Unterlage von 1—2 cm Höhe gebracht. Nun wird mit der linken Hand das Metacarpo-phalangealgelenk des Zeigefingers, sowie das Gelenk zwischen Grund- und Mittelphalange möglichst stark gebeugt. Die Endphalange des Zeigefingers ist nun aktiv unbeweglich; intendiert man jetzt, ohne auf die Hand zu blicken, eine Beugung dieser Phalange, so glaubt man dieselbe wirklich auszuführen. Ein Blick auf den Finger lehrt, daß dies eine Täuschung ist.

SECHZEHNTES KAPITEL.

Die Geruchs- und Geschmacksempfindungen.

I. Die Geruchsempfindungen.

A. Odorometrie.

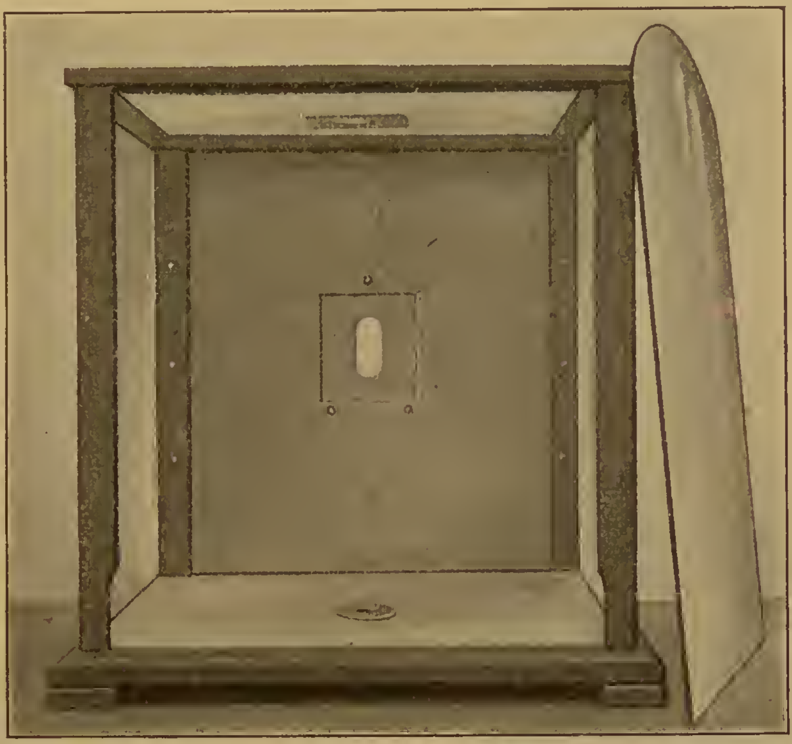
Um die kleinste eben noch bemerkbare Menge eines riechenden Stoffes zu bestimmen, tröpfelt man den Riechstoff in verdünnter Lösung in einen Literkolben ein, verschließt den Kolben, läßt den Riechstoff dort bei normaler Temperatur oder unter leichter Erwärmung verdunsten und prüft dann, ob der Inhalt einen Geruch hat oder nicht. Als Maß der Geruchsschärfe benutzt man die kleinste Menge Substanz, die in einem Liter Luft verteilt noch gerade genügt, um eine minimale Geruchsempfindung hervorzurufen (Passy).

Wegen der Eigenschaft der Riechstoffe, sich an den Wänden festzusetzen, und der davon bedingten Schwierigkeit, die Gefäße zu reinigen, ist diese Methode ziemlich zeitraubend, weshalb folgende Modifikation von Zwaardemaker bei längeren Versuchsreihen vorzuziehen ist.

Zwaardemaker benutzt, statt des Litergefäßes, eine Glaskammer (Fig. 247) von 40 cm Länge, Breite und Tiefe, deren obere und seitliche Wände leicht abnehmbar sind, so daß sie durch Abwischen mit trockenem Tuche von dem absorbierten Dufte rasch befreit werden können. Empfehlenswert ist es, das Tuch mit einer ganz geringen Menge pulverisierter Kreide zu bestreuen und damit das Glas abzureiben. Man kann sich dann oft damit begnügen, nur zwei der Wände fortzunehmen und die übrigen in situ abzuwischen.

Die Luft innerhalb des Kastens ist während dieser Zeit erneuert und geruchlos geworden. In der Mitte der Vorderwand befindet sich eine Öffnung, gerade groß genug, um die Nase durchzulassen. Diese Öffnung bleibt bis zum Momente der Beobachtung durch ein vorgeschobenes Papier verschlossen. In diesem Raum läßt man eine geringe Menge eines Riechstoffes sich verflüchtigen, indem man ihn rein oder in einem Tropfen Wasser gelöst in einem Uhrglas auf den Glasboden des Kastens aufstellt.

Noch einfacher und ebenso sicher ist es, eine große, oben tubulierte Glasglocke mit unten abgeschliffenem und auf einer plangeschliffenen Glasplatte ruhendem Rande zu wählen, den Tubulus mit einem mit Hahn verschließbaren Rohr zu versehen, das in der Öffnung mittels eines mit Paraffin



Figur 247. Riechkasten, nach Zwaardemaker.

getränkten Korkes festgesetzt wird. Das äußere Ende des Rohres ist abgeschmolzen und wird in das eine Nasenloch hineingeführt.

Viele Riechstoffe sind schon in solcher Verdünnung erkennbar, daß es geradezu unmöglich ist, sie unverdünnt in den hier in Betracht kommenden Mengen abzuwägen. Man benutzt sie, wenn nur möglich, in einer wässerigen Lösung; die meisten anderen Lösungsmittel sind unbrauchbar, weil sie entweder selbst riechen oder unvollkommen verdunsten.

Bei allen Versuchen, wo kräftig inspiriert werden soll, werden die Nasenflügel gehoben und die Nasenlöcher beiderseits weit geöffnet (Schnüffeln) oder auch eine Reihe von langsameren, ganz vorsichtigen Inspirationen gemacht. Dabei kann man beobachten, daß mittelkräftige Gerüche nur dann wahrgenommen werden, wenn sie durch die vordere Hälfte des Nasenloches eintreten. Wenn man ein Glasrohr von etwa 10 cm Länge und

$^1/_2$ cm Innenweite innerlich teilweise (zu 1 cm) mit etwas Filtrierpapier bekleidet, letzteres mit z. B. Kampferwasser (1 : 1000) tränkt, und das Rohr beim Schnüffeln in die hintere Hälfte des Nasenloches hineinschiebt, so bemerkt man nichts vom Kampfergeruch; der Geruch wird aber sofort deutlich, wenn man das Rohr in die vordere Hälfte bringt.

Durch dasselbe Rohr läßt sich dartun, daß mittelkräftige Gerüche am Ende der Inspiration scharf abschneiden.

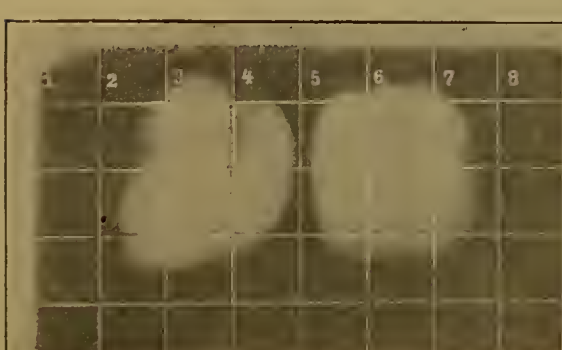
Bei mittelkräftigen Gerüchen wird die Geruchsempfindung durch aufeinanderfolgende Schnüffelbewegungen intermittierend.

Wenn man mit einem Spatel oder dem Griff eines Eßlöffels die Zunge herabdrückt und nun durch ein etwa $1^1/_2$ cm weites Glasrohr irgendeine riechende Substanz mittels einer Druckpumpe in den Pharynx hineintreibt, so empfindet man beim Ausatmen durch die Nase den Geruch.

B. Olfaktometrie.

Um die Geruchsschärfe quantitativ bei verschiedenen Individuen bequem und genau bestimmen zu können, hat Zwaardemaker die Methode der Olfaktometrie ersonnen.

Vorher untersucht er, um sicher zu sein, daß die Nasenhöhle sich in für Luft durchgängigem Zustande befindet, mittels der Methode der Atemflecke (Fig. 248) das Freisein der Nasenhöhle.

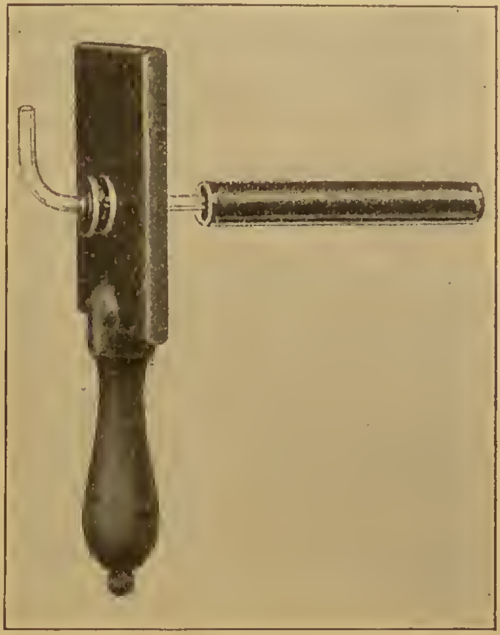


Figur 248. Atemflecke, nach Zwaardemaker.

Hält man nämlich über die Oberlippe eine polierte Metallfläche dicht unter die Nase und atmet ruhig durch die Nase aus, so entstehen auf der Metallfläche durch Atembeschlag symmetrische Flecken; ist eine der Nasenhälften verengt, so ist der betreffende Flecken deutlich kleiner und verschwindet früher als der andere, der nicht verengten Nasenhälfte entsprechende.

Das Prinzip der Olfaktometrie Zwaardemakers besteht nun im folgenden. In das eine Nasenloch wird das abgeschmolzene, vertikale Ende eines rechtwinklig gebogenen Glasrohres hineingeführt; der horizontale Abschnitt des Rohres ist von einem Zylinder aus Ton oder Papier umgeben, der am Rohre verschoben werden kann. Dieser Zylinder ist mit einer Wasser- oder Paraffinlösung der zu untersuchenden Substanz durchtränkt. Wenn der äußere Zylinder vollständig über das Glasrohr geschoben ist, tritt von dem Riechstoff nichts in die Luft, welche bei der Einatmung das Rohr passiert. Je mehr der Zylinder aber ausgezogen ist, d. h. eine je größere Strecke die Luft durch ihn zu passieren hat, bevor sie in das Glasrohr gelangt, um so mehr muß sie sich mit dem Riechstoff schwängern. Die Länge

des Zylinders in Millimeter, die also von der Luft durchströmt werden muß, damit eine gerade merkbare Geruchsempfindung auftritt, stellt die Erkennungsschwelle der Empfindung dar, wenn man nämlich mit Zwaardemaker von der Versuchsperson nicht allein darüber eine Angabe fordert, daß eine Geruchsempfindung überhaupt vorliegt, sondern außerdem noch auch Aufschluß über deren Qualität verlangt.



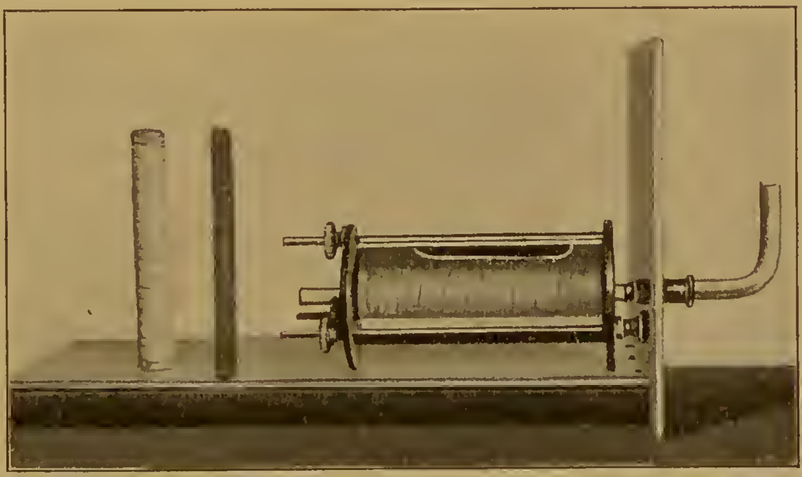
Figur 249. Riechmesser, nach Zwaardemaker.

Damit die Riechsubstanz nicht direkt in das zweite Nasenloch hineingelangt, ist endlich vor dem Zylinder ein Schirm angebracht (vgl. Fig. 249).

Die Dimensionen dieses einfachen Riechmessers sind: Länge des Zylinders 10 cm, innere Lichtung des Zylinders 8 mm; innere Lichtung des Glasrohres 5 mm.

In einer vervollkommneten Gestalt hat der Riechmesser das aus der Figur 250 ersichtliche Aussehen. Der ganze Apparat, mit Ausnahme der in die Nasenöffnung einzuführenden Röhre, ist hier in einer Glasröhre eingeschlossen und der Zylinder von der mit dem Riechstoff beladenen Flüssigkeit umgeben.

Das Riechrohr wird von einer Röhre aus poröser Substanz von etwa $2^1/_2$ mm Wanddicke umschlossen und diese von einem dickwandigen Glasrohr umgeben, so daß ein Zwischenraum von etwa 50 ccm frei bleibt.



Figur 250. Riechmesser, nach Zwaardemaker.

Dieser Zwischenraum ist durch Metallplatten mit Korküberzug abgeschlossen und wird durch ein kleines, mittels eines Deckels verschließbaren Loches mit der Riechlösung gefüllt. (Vgl. Zusatz.)

Als Material für den Riechzylinder dient entweder Filtrierpapier oder poröses Porzellan.

Im ersten Falle fertigt man einen kleinen Zylinder aus Nickelgaze von genau 10 cm Länge und 8 mm Weite an; die Gaze selbst hat eine Dicke von 0.5 mm. Um diesen Zylinder wird auf der Drehbank gewöhnliches Filtrierpapier gewickelt, bis die Papierdicke etwa $2^1/_2$ mm beträgt.

Die porösen Porzellanzylinder werden käuflich bezogen von der Firma t'Hooft & Labouchère in Delft.

Es ist klar, daß man für jeden zu prüfenden Stoff einen besonderen Olfaktometer haben muß. Nach jeder Beobachtung ist das Innenrohr von dem adhärierenden Riechstoff zu reinigen. Bei schwachen Reizen genügt es, etwas Luft hindurchzublasen. Bei stärkeren Reizen, wenn die Luft in höherem Grade mit dem Riechstoff beladen war, ist es empfehlenswert, das Riechrohr mit in Alkohol angefeuchteter Watte an einem biegsamen Draht leicht auszuwischen und nachher mit Hilfe der Wasserluftpumpe während einiger Zeit durchzusaugen. Für fest anhaftende Gerüche genügt indessen auch dies nicht, sondern man muß die Röhre durch Sand reinigen, indem man mittels der Wasserluftpumpe Sand durch sie saugt, wobei natürlich eine Flasche in der Leitung von der Röhre zur Pumpe zur Aufnahme des Sandes eingeschaltet werden muß. Je nach Bedarf läßt man bis zu einem Kilogramm Sand durchströmen.

Für die klinische Olfaktometrie kann ein Stück gewöhnlichen grauen Kautschukschlauches von 8 mm innerem Durchmesser dienen. Er soll ganz neu sein und darf nicht in der Nähe von riechenden Stoffen gelegen haben. Er wird in ein genau herumpassendes Glasrohr geschoben, und in das Kautschukstück wird die gewöhnliche Riechröhre hineingeschoben. Die Länge des Kautschukrohres, welche die eingeatmete Luft passieren muß, um die deutliche Geruchsempfindung gerade zu verursachen, gibt die Schärfe des Geruchsinns an (gewöhnlich 1 cm).

II. Die Geschmacksempfindungen.

Man kann den Schwellenwert des Geschmackes verschieden schmeckender Stoffe dadurch bestimmen, daß man in eine gewisse Menge Wasser bestimmte Mengen der zu untersuchenden Substanzen löst und untersucht, bei welcher Konzentration eine Geschmacksempfindung noch ausgelöst werden kann.

Bei den untereinander zu vergleichenden Versuchen soll die absolute Menge der Flüssigkeit dieselbe sein, etwa 5 ccm. Man macht von den betreffenden Substanzen Lösungen in zweckmäßiger Verdünnung und tropft von diesen bestimmte Mengen zu einem Gläschen mit 5 ccm reinem Wasser. Nach jedem Versuch soll der Mund mit destilliertem Wasser gut ausgespült werden.

Zur Bestimmung der Empfindlichkeit der einzelnen Papillen für verschiedene Schmeckstoffe steckt die Versuchsperson die Zunge heraus.

Nachdem sie gut abgetrocknet worden ist, bringt man auf verschiedene Teile der Spitze die zu untersuchende Lösung. Hierzu sind Kapillarröhrchen nicht geeignet; dagegen haben sich kleine Pinsel (2 cm Länge und $^1/_2$ cm Dicke), deren Spitzen so abgeschnitten werden, daß sie angefeuchtet und zugespitzt eine abgestutzte Fläche bilden, etwas kleiner als die kleinsten pilzförmigen Papillenenden, zu diesem Zwecke sehr gut bewährt (Öhrwall).

Als Schmeckstofflösungen werden 2 prozentige Lösungen von salzsaurem Chinin, 40 prozentige Lösungen von Rohrzucker, 20 prozentige Lösungen von Kochsalz und 2 prozentige Lösungen von Weinsäure benutzt.

Nach dieser Methode und unter Anwendung eines Leseglases zur genaueren Orientierung werden nun verschiedene Stellen der Zungenspitze, einzelne Papillen und dazwischenliegende Teile der Zungenoberfläche geprüft. Hierbei soll man mit allen vier Lösungen möglichst viele Papillen untersuchen, um solcherart Aufschlüsse darüber zu erhalten, ob alle Papillen für alle Geschmacksqualitäten reagieren oder nicht.

Zur Orientierung entwirft man zuerst eine Skizze über die Lage der zu untersuchenden Papillen.

Um die Empfindlichkeit anderer Regionen der Zunge für die verschiedenen Schmeckstoffe zu prüfen, bepinselt man die gut abgetrocknete Zunge systematisch mit $2^1/_2$ mm breiten Haarpinseln und zeichnet die Resultate auf ein Diagramm der Zunge ein. Es empfiehlt sich hierbei, auch die leicht zugänglichen Regionen des harten Gaumens, der Wangenschleimhaut und der unteren Zungenfläche in ähnlicher Weise zu prüfen.

Ferner kann man durch ein 5 mm weites Glasrohr schmeckende Gase (Chloroform, Äther) mittels eines Gummiballons auf verschiedene Zungenregionen einwirken lassen.

Wenn man auf der Zunge den einen Pol eines Kettenstromes und auf der Brust den anderen anbringt, so bekommt man, je nachdem der positive oder negative Pol an der Zunge liegt, einen sauren oder brennenden alkalischen Geschmack.

Zu diesem Versuch benutzt man einen Strom von 1—2 Volt und schaltet in die Leitung einen Stromwender ein, so daß man die Wirkungen der verschiedenen Pole unmittelbar nacheinander wahrnehmen kann.

Die Tatsache, daß die verschiedenen Geschmacksqualitäten von verschiedenen Nervenfasern ausgelöst werden, folgt nicht allein aus der verschiedenen Empfindlichkeit verschiedener Papillen bzw. verschiedener Regionen der Zunge für die verschiedenen Geschmacksqualitäten, sondern auch aus einigen interessanten Giftwirkungen.

So wird durch eine einmalige Bepinselung der Zunge mit Kokain in 2 prozentiger Lösung die Empfindung des Bitteren (Chinin) gänzlich aufgehoben, während die übrigen Qualitäten, wenn auch abgeschwächt, noch vorhanden sind. Durch wiederholte Pinselung mit der betreffenden Lösung lassen sich alle Geschmacksqualitäten aufheben.

Das Eukain *B* macht nach fünfmaliger Bepinselung die Bitterempfindung vollständig verschwinden, während die drei anderen Qualitäten, wenn auch abgeschwächt, immer noch vorhanden sind. Eukain *B* empfiehlt sich vor dem Kokain, da es nur eine geringe Giftigkeit besitzt.

Die Gymnemasäure aus dem Gymnema sylvestre vermag in 2 prozentiger Lösung ihres Natriumsalzes, wenn sie auf die Zunge gepinselt wird, den süßen und bitteren Geschmack ganz aufzuheben. Dabei ist der Drucksinn der Zunge unberührt, und auch der salzige und der saure Geschmack werden so gut wie ganz erhalten.

SIEBZEHNTES KAPITEL.

Die Physiologie des Ohres.

I. Die nicht-akustischen Funktionen des inneren Ohres.

A. Exstirpation des Labyrinthes beim Frosch.

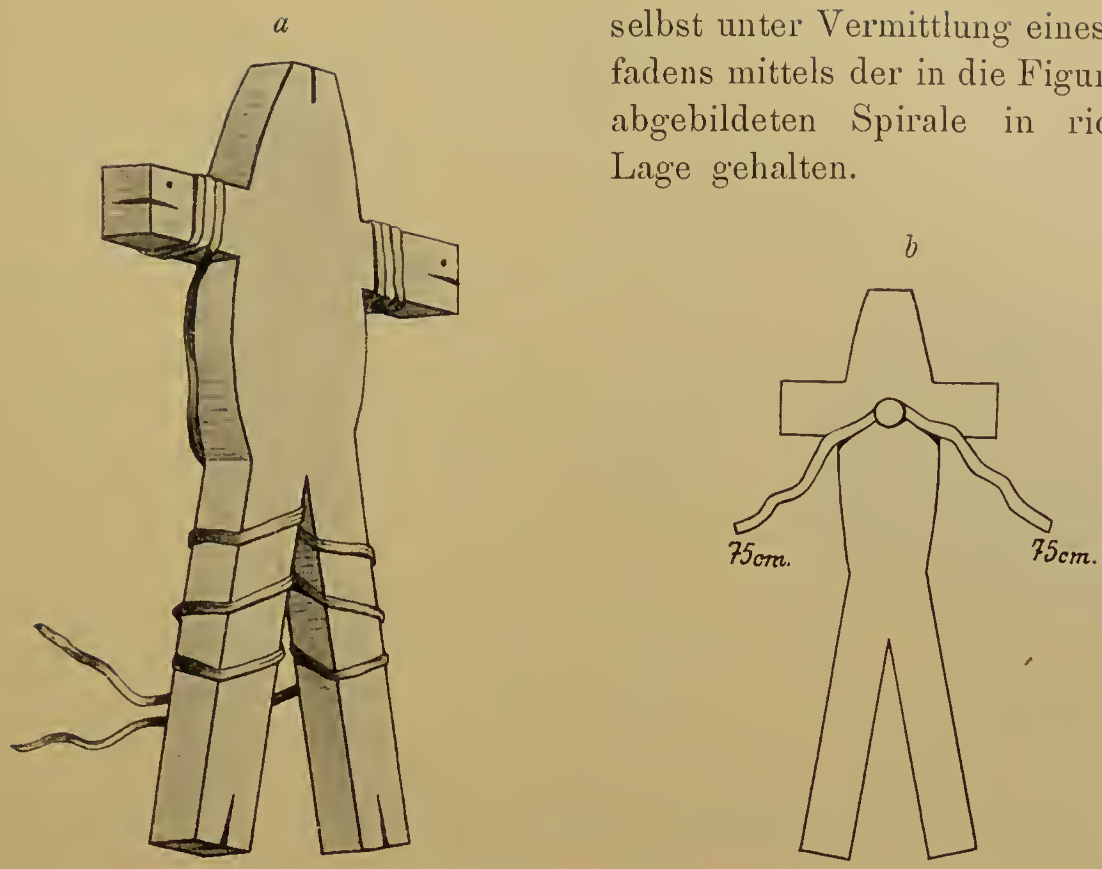
Für das physiologische Praktikum empfiehlt J. R. Ewald sehr warm die Exstirpation des Labyrinthes beim Frosch; ich teile seine Darstellung des Operationsverfahrens, insoweit es sich auf die Operation von der Mundhöhle aus bezieht, hier kurz mit.

Der nicht zu stark mit Urethan narkotisierte Frosch wird in Rückenlage an dem $^1/_2$ natürlicher Größe in Figur 251 abgebildeten Brett befestigt. In den Rand des Oberkiefers wird ein Haken mit kurzem Bindfaden (Fig. 252, *C*) eingehakt und in dem Schnitt am Kopfende des Froschbrettes festgeklemmt; ein ähnlicher Haken wird in den Rand des Unterkiefers eingehakt und mittels eines an ihm befestigten Bindfadens der Mund geöffnet, bis der Unterkiefer auf die Brustwand zu liegen kommt; dieser Bindfaden wird an dem einen Fußende des Operationsbrettes befestigt.

Mit einer kleinen Schere schneidet man die Schleimhaut des Oberkiefers genau in der Mittellinie vom vorderen Rande der Augäpfel zu der Verschlußstelle des Ösophagus auf.

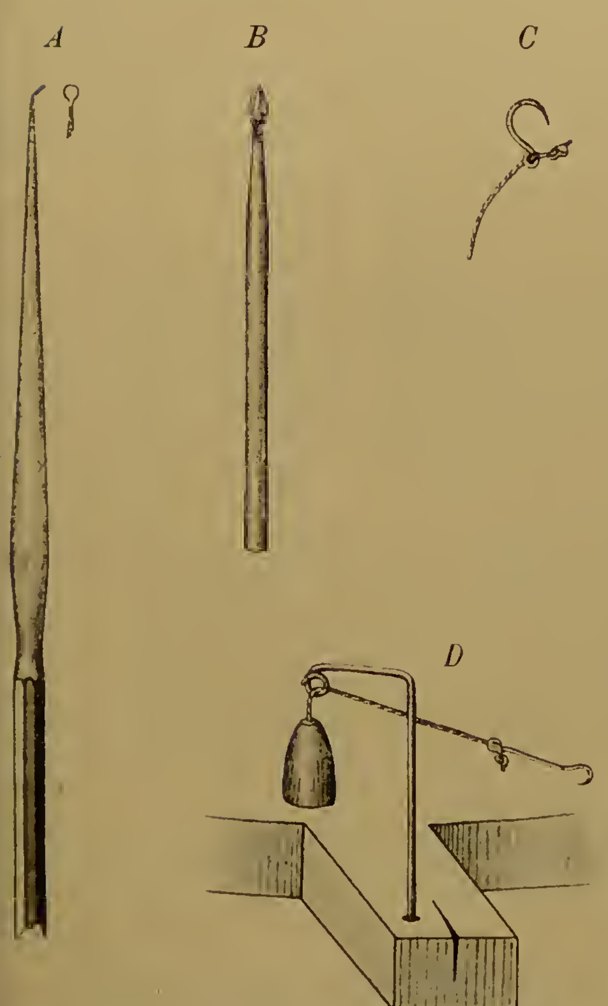
Mit einer kleinen Pinzette wird die eine Hälfte der durchschnittenen Schleimhaut etwa in der Mitte des Schnittes erfaßt und nach außen umgeschlagen. Man sieht dann ein kleines Büschel von Blutgefäßen, welches aus der Tiefe hervortritt und an der aufgehobenen Schleimhaut haftet. Mittels eines kleinen Hakens werden die Gefäße abgezogen und der Haken

selbst unter Vermittlung eines Bindfadens mittels der in die Figur 252 *D* abgebildeten Spirale in richtiger Lage gehalten.



Figur 251. Froschbrett, nach J. R. Ewald. *a*, von oben; *b*, von unten.

Nun liegt das Operationsfeld frei. Das Os parabasale bildet (Fig. 253 *a*) an der Basis cranii ein Kreuz mit einem langen Schenkel nach vorn, einem ganz kurzen nach hinten



Figur 252. *A*, Exkavator; *B*, Bohrer; *C*, Häkchen für den Ober- und Unterkiefer (vergrößert); *D*, Vorrichtung, um Schleimhaut und Blutgefäße zur Seite zu schieben. Nach J. R. Ewald.



Figur 253. Der Froschschädel von unten gesehen.

und zwei wieder etwas längere nach den Seiten. Durch diese Seitenschenkel hindurch sieht man das Otolithensäckchen hindurchschimmern. Mit einem feinen geschärften

Bohrer von 0.7 mm Diameter bohrt man mitten in dies hinein (Fig. 253 links ein kleines, rechts ein größeres Loch) und benutzt dann den in Figur 252 *B* dargestellten Bohrer, dessen Durchmesser an der dicksten Stelle 2 mm beträgt, um die Ohrhöhle so weit zu öffnen, daß der Bohrer durch das Loch hindurch einsinken kann.

Durch wenige Stiche mit einer Nadel oder dem kleinen Bohrer bringt man den Inhalt des Otolithensäckchens zum Ausfließen und spült ihn mit einer Spritzflasche nach außen fort. Mit ganz kleinen Schwämmchen, nicht viel größer als ein Stecknadelknopf, tupft man dann die Ohrhöhle aus, geht endlich mit dem Exkavator (Fig. 252 *A*) in die Ohrhöhle hinein und kratzt den ganzen Inhalt zusammen, um solcher Art die Bogengänge und die Ampullen herauszubringen.

In Glyzerin gebracht, nehmen die Bogengänge infolge ihrer Elastizität ihre ursprüngliche Form wieder an, und man kann die ganze Konfiguration des Gebildes, besonders wenn man das Präparat vorher kurze Zeit in Karminlösung gebracht hat, sehr schön erkennen.

Nach beendeter Operation wischt man die Ohrhöhle mit einem der oben erwähnten kleinen Schwämme sauber aus, die durchschnittene Schleimhaut wird wieder in ihre Lage gebracht, und man kann dann in gleicher Weise die Operation auf der anderen Seite ausführen. Die gespaltene Schleimhaut legt sich nach Beendigung der Operation so gut aneinander, daß ein Vernähen nicht nötig ist. Will man indessen die Frösche lange am Leben erhalten, so empfiehlt es sich, durch zwei Fäden die Wundränder zu vereinigen.

B. Die Durchschneidung des äußeren Bogenganges bei der Taube.

Nachdem die mit Chloroform (Wattebäuschchen vor den Nasenöffnungen) narkotisierte Taube sorgfältig geschoren oder gerupft ist — letzteres scheint bei Anwendung der Jodpinselung ganz ungefährlich zu sein — wird sie entweder in einem besonderen Halter (vgl. Kap. XIX, III, C) befestigt oder von einem geschickten Assistenten gehalten. Man legt den Hautschnitt vom äußeren Ohr schief nach hinten und oben bis zu der Medianlinie, so daß er wenige Millimeter vor der Ansatzlinie der Nackenmuskeln liegt.

Von hier aus präpariert man die das Operationsfeld bedeckende Muskulatur frei und verschiebt sie nach unten, wobei man nur ein Stückchen von 2—3 mm an der Medianlinie unberührt läßt.

Dann sieht man durch die glatte und dünnwandige Knochenwand die Kreuzung des Canalis externus und Canalis posterior mehr oder weniger deutlich durchschimmern (vgl. Fig. 254).

Die drei Bogengänge liegen zwischen den beiden Knochentafeln des Schädeldaches, welche hier auseinander weichen und die Ohrhöhle zwischen sich lassen. Sie stoßen nirgends an die äußere Wand, und man kann also diese entfernen, ohne die Bogengänge zu berühren.

Die Bogengänge werden nun freigelegt, indem man mit einem scharfen Messer das über ihnen befindliche Knochendach von vorn nach hinten abhebt und dann am liebsten mit einem Exkavator, wie ihn die Zahnärzte zum Auskratzen der Zähne benutzen, die zarten Knochenbalken und Spangen abbricht und abkratzt, welche die Bogengänge untereinander und mit den Wänden der Ohrhöhle verbinden. Die losgebrochenen Knochenteilchen werden mit einer Pinzette herausgeholt.



Figur 254. Taubenkopf, nach J. R. Ewald.

Hierbei muß man wegen der die Bogengänge begleitenden, in knöchernen Kanälen verlaufenden Venensinus vorsichtig zu Werke gehen. Da der innere Teil des horizontalen Bogenganges, von der Kreuzung der Bogengänge aus gerechnet, von keinem Venensinus begleitet ist, kann er hier mit einer Schere ohne Blutung durchschnitten werden. — Auch kann man sämtliche Bogengänge zerstören; die dabei entstehende Blutung wird mit Eisenchloridwatte gestillt.

Weitere Operationen an den Bogengängen erfordern, wegen der immer drohenden Blutung, die die Operation unsicher macht, ein besonderes Instrumentarium und sei daher in bezug auf diese auf die Darstellung von J. R. Ewald verwiesen. Über die Fütterung der operierten Tiere vgl. unten Kap. XIX, III, C.

C. Der galvanische Schwindel beim Menschen.

Mittels zwei mit gefeuchtetem Handschuhleder überzogener, runder Metallelektroden von etwa $^1/_2$—1 cm Durchmesser wird ein konstanter elektrischer Strom an den beiden Schläfenbeinen (Proc. mastoideus oder dicht hinter der Ohrmuschel oder am besten neben dem Tragus) zugeführt. Man fängt mit schwachen Strömen an und steigert ihre Stärke allmählich.

Bei den schwächsten, überhaupt wirksamen Strömen tritt nur eine Art von Benommenheit ein; bei stärkeren Strömen beobachtet die Versuchsperson aber Scheinbewegungen, deren Richtung durch die Stromrichtung derart bedingt wird, daß die Gesichtsobjekte während der Stromdauer wie ein dem Gesicht paralleles, aufrechtes Rad von der Seite der Anode nach der Seite der Kathode zu kreisen scheinen. Im Moment der Öffnung ändern sie ihre Richtung, so daß nun die Scheinbewegung auf der Seite der Kathode eine aufsteigende und auf der Seite der Anode eine absteigende Richtung hat.

Gleichzeitig schwankt die Versuchsperson mit dem Kopfe oder dem ganzen Körper bei Stromschließung nach der Seite der Anode und bei der Stromöffnung nach der Seite der Kathode (J. R. Ewald).

II. Die Gehörempfindungen.

A. Die Schallleitung im Ohr.

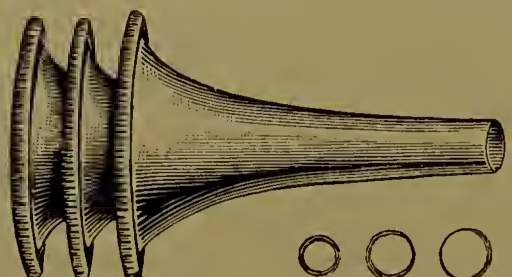
1. Rinnes Versuch.

Wenn der Stiel einer Stimmgabel auf irgendeinen Punkt des Kopfes gesetzt wird, so pflanzt sich ihr Ton mit größerer oder geringerer Stärke zu den beiden Felsenbeinen fort. Gewisse Teile des Schädels leiten den Schall besser, andere schlechter, auf dem Warzenfortsatz tönt die Gabel lange. Ist der Ton auch hier verklungen, so wird er wieder hörbar, wenn die Gabel vor das Ohr gebracht wird.

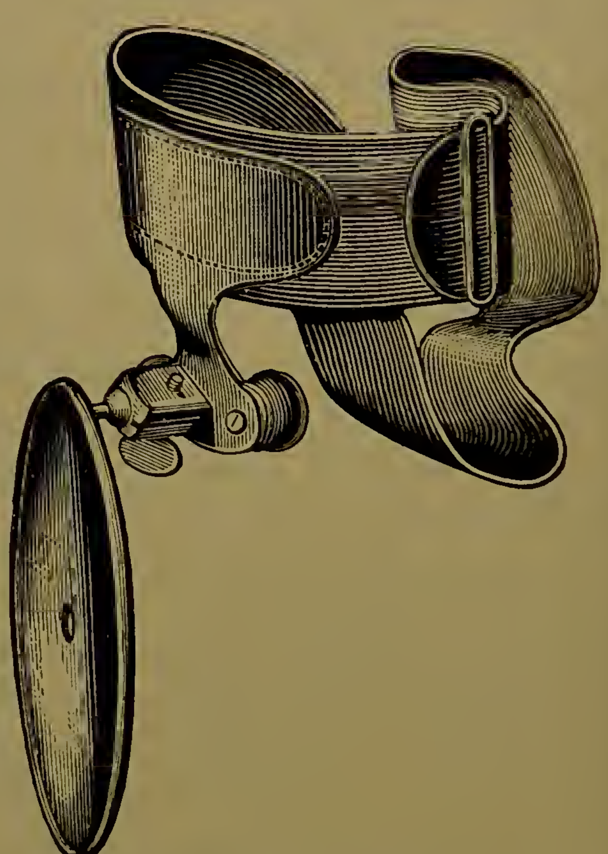
Es kommt aber auch vor, daß eine Stimmgabel, die so weit ausgeklungen, daß sie, ziemlich dicht vor das Ohr gehalten, keine Schallempfindung mehr verursacht, eine solche hervorruft, wenn sie gegen die Zähne gehalten wird.

2. Der Ohrenspiegel.

Um an Menschen das Trommelfell beobachten zu können, führt man einen kleinen, gut polierten Trichter aus Neusilber (Fig. 255 A) in den äußeren Gehörgang hinein; wegen des schiefen Verlaufes des äußeren Gehörganges muß man durch Ziehen an der Ohrmuschel nach hinten oben und außen den Gang strecken. Zum



Figur 255 A. Satz von drei Ohrtrichtern.



Figur 255 B. Stirnspiegel.

Einführen in den Gehörgang wählt man einen möglichst großen Trichter, der ohne Gewalt hineingeführt werden kann.

Das Trommelfell wird nun durch einen konkaven Spiegel beleuchtet, der mittels eines Bandes um den Kopf des Untersuchers in der Weise festgesetzt ist, daß die zentrale Öffnung des Spiegels vor seine Pupille fällt. Man plaziert den Spiegel so, daß die von der Lichtquelle in ihm reflektierten Strahlen in den Trichter fallen (Fig. 255 B).

Durch Hin- und Herbewegen des Kopfes bringt der Untersucher sein Auge in die richtige Entfernung und erblickt dann im Boden des Trichters das Trommelfell, an welchem er besonders auf den kurzen und den langen Fortsatz des Hammers, sowie auf den Nabel (Umbo) des Trommelfelles achtzugeben hat.

Es ist sehr zu empfehlen, von dem Trommelfell eine kleine Skizze mit einem Blei- oder Kreidestift zu entwerfen.

3. Die akustischen Schwingungen des Trommelfells.

Um die akustischen Schwingungen des Trommelfells zu demonstrieren, bedienen sich Nagel und Samojloff eines Hammelkopfes, der möglichst frisch aus dem Schlachthofe bezogen wurde. Denselben Dienst leistet auch ein Kalbskopf, ja, selbst am Kopf der Katze kann der Versuch, obgleich weniger elegant, ausgeführt werden. Wünschenswert ist es, daß das betreffende Tier nicht durch Schlag auf den Kopf getötet ist, weil eine Blutung in die Paukenhöhle und Nasenhöhle unter Umständen den Versuch vereiteln könnte.

Die Paukenhöhle dieses Kopfes wird in Verbindung mit einem Brenner mit sehr feiner Öffnung als Gaskammer verwendet; das Trommelfell wird durch Schall in Schwingungen versetzt und die Reaktion der Gasflamme während dessen im rotierenden Spiegel betrachtet.

Zur Gaszuführung wird eine dünne Röhre aus Metall oder Glas von 1—2 mm lichter Weite benutzt. Sie wird in die Tuba Eustachii eingeführt, was, nachdem man den Schädel median durchgesägt oder am undurchsägten Schädel den Unterkiefer exartikuliert hat, ohne Schwierigkeit gelingt, namentlich wenn man sich einmal die Richtung des knöchernen Teiles der Tuben gemerkt hat.

Die Röhre darf nicht bis zum Aufstoßen auf die gegenüberliegende Wand der Paukenhöhle eingeführt bleiben, um den Eintritt des Gases nicht zu hemmen.

Die äußere Mündung der Röhre wird mit einer T-Röhre verbunden, deren einer Schenkel mit der Gasleitung kommuniziert, während der andere zur empfindlichen Gasflamme führt. Dann ist die Paukenhöhle als ein seitlicher Divertikel an die Gasleitung angeschlossen, und die Schwingungen des Trommelfells erteilen dem Leuchtgas Stöße, die stark genug sind, um die Flamme deutlich reagieren zu lassen.

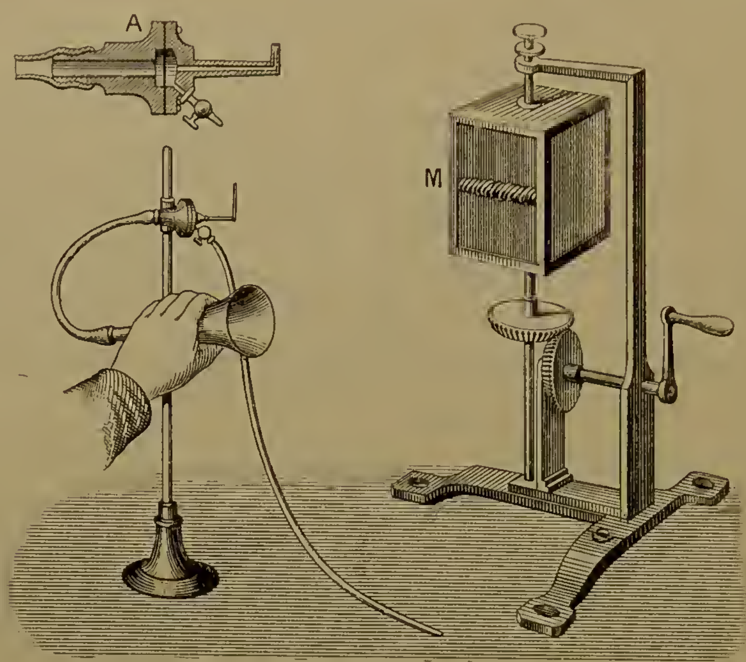
Um dem Trommelfell Schallwellen zuzuführen, wird in den äußeren Gehörgang, nach Entfernung des äußeren Ohres, ein kurzes möglichst weites Glasrohr eingesetzt, welches durch einen weiten Gummischlauch mit einem passenden Mundstück verbunden ist. Hierbei ist es notwendig, durch Ziehen mittels einer Pinzette den Gehörgang gerade zu strecken.

Noch größere Ausschläge erhält man, wenn man, um das Gas zum empfindlichen Brenner zu leiten, die Paukenhöhle von der Unterseite des

Schädels her anbohrt und in das also entstandene Loch von 5—6 mm Durchmesser den Schlauch zum Brenner einzwängt.

Um das Gas stärker brennend zu machen, wird er über Benzin geleitet.

Diese Methode ist der Methode der manometrischen Flammen von König nachgebildet. Bei dieser (Fig. 256) wird ein Leuchtgasstrom



Figur 256. Manometrische Flamme, nach König.

durch eine kleine kreisförmige Kapsel *A* geführt, deren Vorderseite von einer elastischen Membran gebildet wird, die von den Tonwellen getroffen wird. Hierdurch entstehen Druckschwankungen im Gasstrom, die sich durch Höhen- und Volumenänderungen der Flamme äußern. Um diese Änderungen mit dem Auge verfolgen zu können, beobachtet man das Bild der Flamme auf der rasch bewegten Fläche eines rotierenden würfelförmigen Spiegels.

B. Die Hörschärfe.

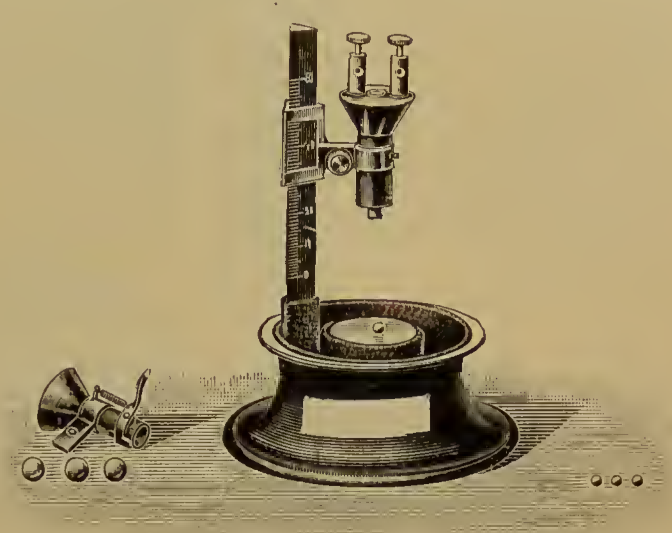
Unter den zu diesem Zwecke vorgeschlagenen Methoden soll nur die von Zoth angegebene hier erwähnt werden.

Auf einem oben ausgehöhlten gedrehten Holzfuß erhebt sich seitlich eine senkrechte 9 cm hohe, in Millimeter geteilte Dreikantsäule, an der eine mit Nonius versehene, streng federnde Hülse auf- und abwärts verschoben werden kann. Diese trägt einen kleinen, vertikal stehenden Elektromagneten, welcher zum Festhalten und Ablösen der bei den Fallversuchen verwendeten Kugeln dient. Bei Öffnung des Stromes fallen die Kugeln auf die Mitte eines zylindrischen Stahlklotzes von 25 mm Durchmesser und 10 mm Höhe, welcher, an seiner Unterseite mit Samt bekleidet, inmitten der ebenfalls mit Samt ausgekleideten Höhlung des Holzfußes aufgelegt ist und mit seiner oberen Fläche 2 mm höher als der Rand derselben liegt. Die um den Klotz verbleibende Rinne dient zum geräuschlosen Auffangen der herab-

fallenden Kugeln. Der ganze Apparat steht auf einer 1 cm dicken Tuchunterlage.

Als Fallkugeln werden die gewöhnlichen Kugellager-Stahlkugeln von $^1/_8$″ (3.2 mm) Durchmesser mit einem Gewicht von 0.1262—0.1263 g benutzt. Zur Erzeugung stärkerer oder noch schwächerer Schalle können die größeren oder kleineren Nummern solcher Kugeln verwendet werden.

Beim Versuch wird der Apparat in einer bestimmten, mittels eines Bandmaßes gemessenen Entfernung vom Ohr aufgestellt und die Fallhöhe festgestellt, bei welcher der durch den Stoß einer bestimmten Kugel gegen den Stahlklotz erzeugte Schall eben noch wahrgenommen werden kann; oder auch man kann bei konstanter Fallhöhe und konstantem Gewicht die Entfernung messen, in welcher das Geräusch der fallenden Kugel gerade noch gehört wird. Die erste Versuchsweise ist vorzuziehen, da eine direkte Proportionalität zwischen Fallhöhe und Schallstärke stattfindet.



Figur 257. Apparat zur Bestimmung der Hörschärfe, nach Zoth.

Die Hörrichtung ist entweder rein seitlich oder auch 45° nach vorne seitlich. Das nicht untersuchte Ohr wird durch einen mäßig festen, trockenen Wattepfropf geschlossen.

Man beginnt die Prüfung mit deutlich hörbaren Fallgeräuschen und vermindert dann die Fallhöhen allmählich von Millimeter zu Millimeter, gegen Ende von $^1/_2$ zu $^1/_2$ mm und wiederholt die Bestimmungen etwa jede 40. bis 60. Sekunde. Jede Schwellenbestimmung soll mit 15—25 Einzelversuchen beendigt sein, um den Einfluß der Ermüdung usw. auszuschließen. Wenn die Bestimmung des Schwellenwertes nach der genannten Anzahl von Einzelversuchen noch nicht beendigt ist, muß eine Pause von einigen Minuten eingeschaltet werden und dann der Versuch, wieder von deutlich hörbaren Schwellenwerten ausgehend, fortgesetzt werden.

Daß im Zimmer sonst die größtmögliche Stille herrschen soll, ist selbstverständlich. Außerdem muß vor jedem Einzelversuch ein Vorsignal gegeben werden, so daß die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit während der Pause abspannen kann.

Als Einheit der Hörschärfe nimmt Zoth den Schalleindruck an, welcher eine Kugel von $^1/_8$″ (3.2 mm) Durchmesser bei einer Fallhöhe von 0.8 mm in 1 m Entfernung hervorruft.

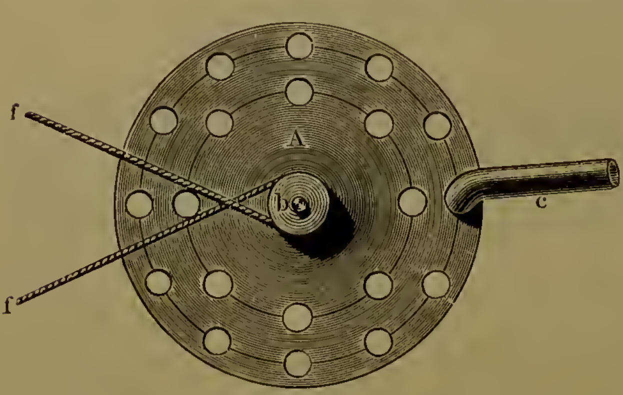
C. Die Eigenschaften der Töne.

1. Die Sirene.

In eine kreisende Scheibe (Fig. 258) aus Metallblech oder Pappe sind mehrere konzentrische Reihen von gleichgroßen, in jeder Reihe in genau derselben gegenseitigen Entfernung befindlichen Löchern geschlagen; jede Reihe bildet einen Kreis mit der Achse der Scheibe als Mittelpunkt.

Wird nun die Scheibe mit der Hand oder besser mit einem Motor gleichförmig umgedreht und durch ein Rohr *c* mit dem Mund oder mit einem Blasebalg eine Löcherreihe angeblasen, so entsteht ein Ton, dessen Höhe von der Anzahl der in der Zeiteinheit angeblasenen Löcher abhängig ist.

Wenn die Zahl der Löcher in drei aufeinander folgenden Reihen sich wie 4 : 5 : 6 verhält und die Scheibe mit konstanter Geschwindigkeit rotiert, so stellen die nacheinander angeblasenen Töne den Durdreiklang, Grundton, Terz und Quinte dar. Wenn noch mehrere Löcherreihen vorhanden sind, kann man sich, immer unter der Voraussetzung, daß die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe konstant ist, davon überzeugen, daß bei einem Verhältnis von 24 : 27 : 30 : 32 : 36 : 40 : 45 : 48 die ganze Durskala erscheint.



Figur 258. Seebecks Sirene.

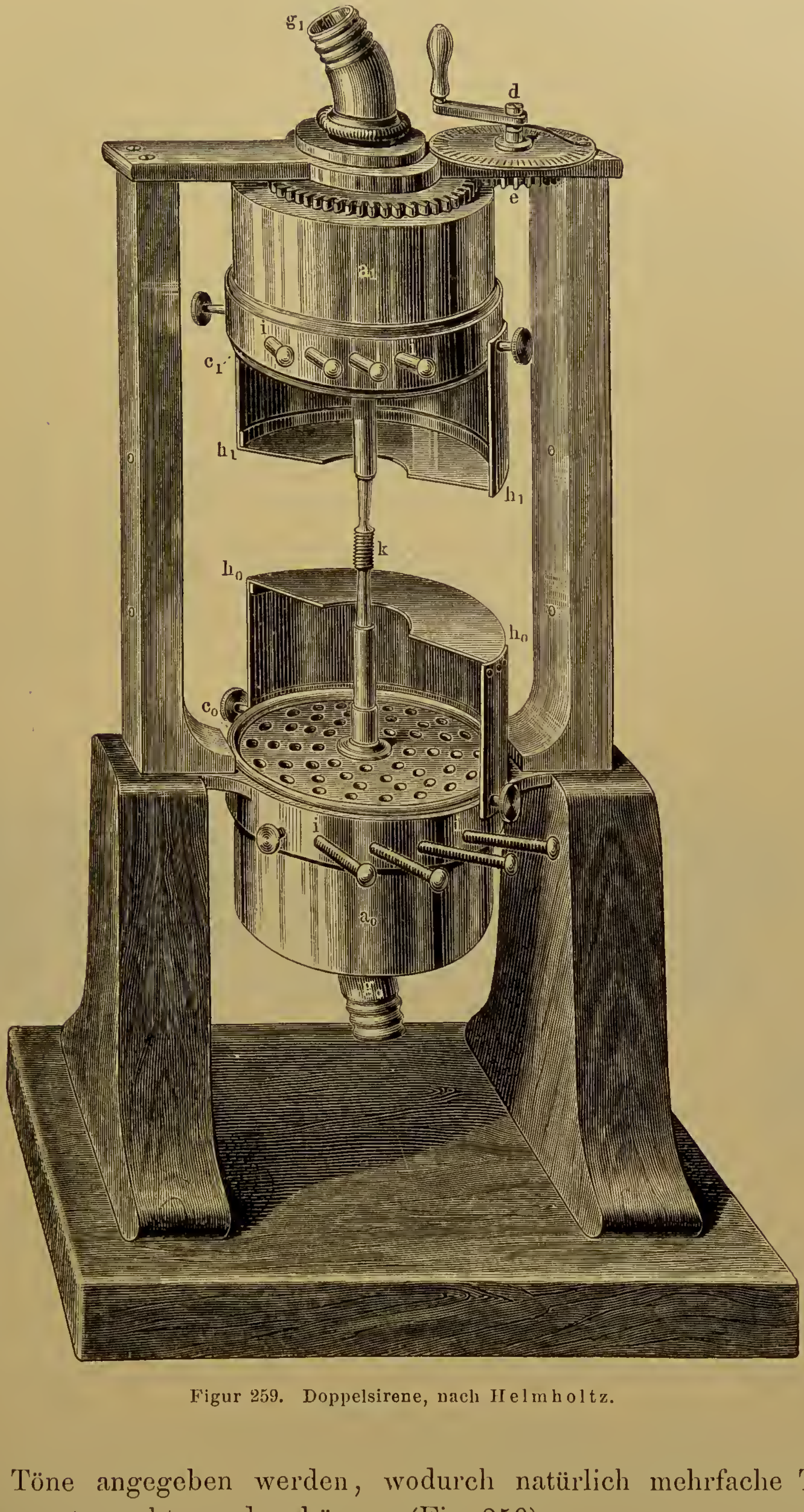
Die einfache Abhängigkeit der Tonhöhe von der Schwingungszahl läßt sich nun weiter dadurch nachweisen, daß sich die gleichen musikalischen Intervalle immer wieder wiederholen, gleichgültig ob die Rotationsgeschwindigkeit groß oder klein ist, nur daß sie bei dem Spielen einer zusammengehörigen Folge von Tönen konstant ist.

Wenn man die Rotationsgeschwindigkeit des Motors und die Größe der Übersetzung zwischen Motor und Sirenscheibe kennt, kann man unschwer die absolute Schwingungszahl der erhaltenen Töne finden.

Bei gewissen Sirenen findet sich übrigens an der Scheibe ein Zählerwerk, welches erst dann in Gang gesetzt wird, wenn die Scheibe ihre definitive Geschwindigkeit bekommen hat. Dann hat man nur das Zählerwerk vor und nach dem Versuch abzulesen, sowie an einer Sekundenuhr die Dauer des Versuches zu bestimmen.

Von komplizierterem Bau ist die Doppelsirene, bei welcher zwei Sirenenscheiben durch einen gemeinsamen Motor gedreht und durch einen Blase-

balg angetrieben werden. Durch Schieber können die Löcherreihen geöffnet und geschlossen werden und also entweder ein Ton oder gleichzeitig



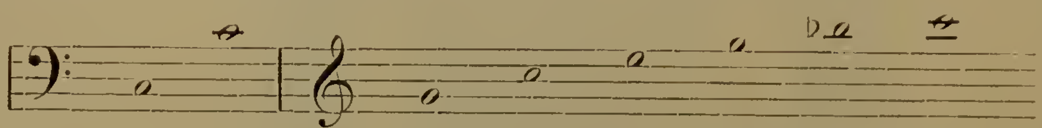
Figur 259. Doppelsirene, nach Helmholtz.

mehrere Töne angegeben werden, wodurch natürlich mehrfache Tonkombinationen untersucht werden können (Fig. 259).

2. Die Obertöne.

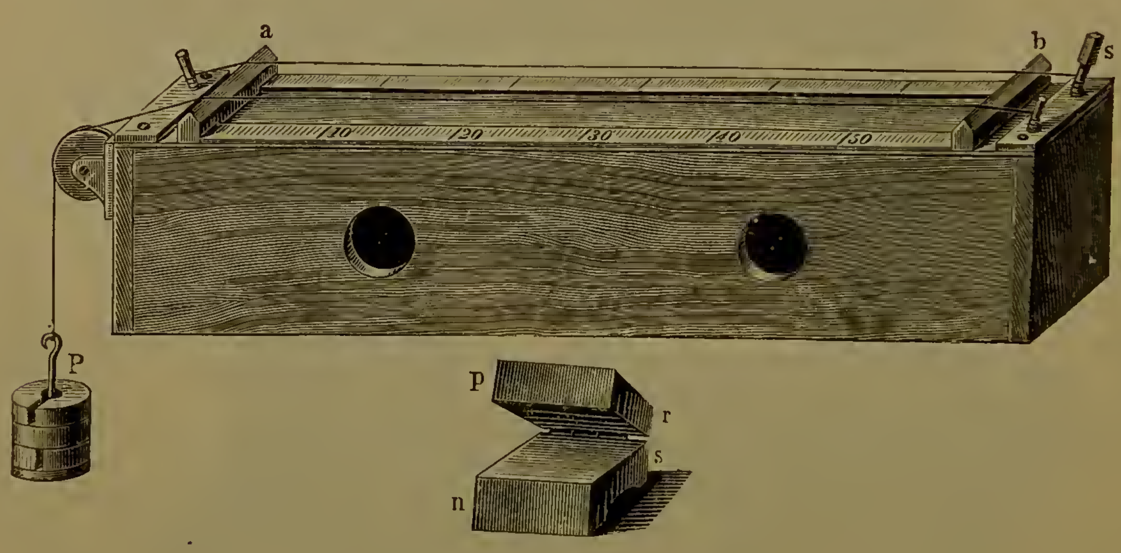
Die Klangfarbe verschiedener musikalischer Instrumente ist wesentlich davon bedingt, daß der tönende Körper außer dem Grundton auch Töne entsendet, deren Schwingungszahl Multipeln des Grundtones sind.

Die harmonischen Obertöne vom *c* sind in folgendem Notenbeispiel aufgenommen



Von diesen hört man in der Regel die ungeradzahligen leichter als die geradzahligen, welche Oktaven entweder des Grundtons oder anderer tieferer Partialtöne sind. Daher sind bei den Versuchen über die Obertöne gerade der dritte (Quinte der Oktave) und der fünfte Oberton (Terz der zweiten Oktave) in erster Linie zu berücksichtigen.

Um diese Obertöne nachzuweisen, empfiehlt Helmholtz u. a. folgende Versuche, die sich unschwer an einem einfachen Mono- oder Dichord (Fig. 260) ausführen lassen.



260. Dichord. *b*, Beweglicher Steg dazu, welcher die Saite ohne Veränderung der Spannung zwischen dem Fußstück *ns* und dem Deckel *pr* einklemmt.

Will man anfangen, Obertöne zu beobachten, gilt als erste Regel, vor dem Klange, der analysiert werden soll, ganz schwach diejenige Note erklingen zu lassen, welche man aufsuchen will. Am Monochord findet sich unter der Saite ein Maßstab, und es bietet daher keine Schwierigkeit dar, mit dessen Hilfe die Lage der Knotenpunkte zu berechnen. Da diese bei dem zweiten Oberton in der Mitte, bei dem dritten Oberton in $^1/_3$, bei

dem vierten in $^1/_4$ usw. der Saitenlänge liegt, erhält man den gewünschten Oberton, wenn man die Saite an der Stelle dessen Knotenpunkts berührt und sie zwischen diesem und dem Befestigungspunkt der Saite anschlägt oder streicht. Indem man nun die Saite zum Tönen bringt, bald mit Berührung des Knotenpunktes, bald ohne solche Berührung, bekommt man bald den gesuchten Oberton allein, bald die ganze Klangmasse der Saite und erkennt dann verhältnismäßig leicht, daß auch in dieser der betreffende Oberton erhalten ist.

In einer etwas anderen Weise läßt sich dieser Versuch folgendermaßen ausführen. Man berührt den betreffenden Knotenpunkt des Monochords mit den Haaren eines kleinen Malerpinsels, schlägt an und entfernt unmittelbar auch den Pinsel von der Saite. Hat man den Pinsel fest an die Saite gelegt, so hört man entweder allein den betreffenden Oberton oder doch den Grundton nur schwach daneben. Wiederholt man nun den Anschlag der Saite, indem man die Berührung des Pinsels immer leiser und leiser macht und zuletzt den Pinsel ganz entfernt, so wird neben dem Oberton auch der Grundton der Saite mehr und mehr hörbar, bis man zuletzt den vollen natürlichen Klang der freien Saite hat. Dadurch gewinnt man eine Reihe allmählicher Übergänge zwischen dem isolierten Oberton und dem zusammengesetzten Klange, in welchem der erstere leicht vom Ohr festgehalten wird.

Ein Kontraversuch ist folgender. Wenn man die Saite des Monochords zupft oder schlägt oder streicht in einem solchen Punkte, welcher Knotenpunkt irgendeines ihrer Obertöne ist, gehen natürlich diejenigen Obertöne, welche in dem angegriffenen Punkte einen Schwingungsknoten haben, verloren. Greifen wir also eine Saite gerade in ihrer Mitte an, so fallen alle geradzahligen Obertöne aus; es gibt dies einen eigentümlich hohlen oder näselnden Klang der Saite.

Endlich sei noch folgender Versuch erwähnt. Man schlägt zuerst in rhythmischer Folge abwechselnd den dritten und vierten Oberton der Saite an, indem man diese dabei in den entsprechenden Knotenpunkten dämpft, und bittet den Hörer, sich die Art einfacher Melodie zu merken, welche dadurch entsteht. Dann schlägt man die Saite ohne Dämpfung abwechselnd und in demselben Rhythmus in diesen Knotenpunkten an und erzeugt so dieselbe Melodie in den Obertönen. Diese wird der Hörer jetzt leicht wiedererkennen. Natürlich muß man, um den dritten Ton zu haben, jetzt den Knotenpunkt der vierten anschlagen und umgekehrt.

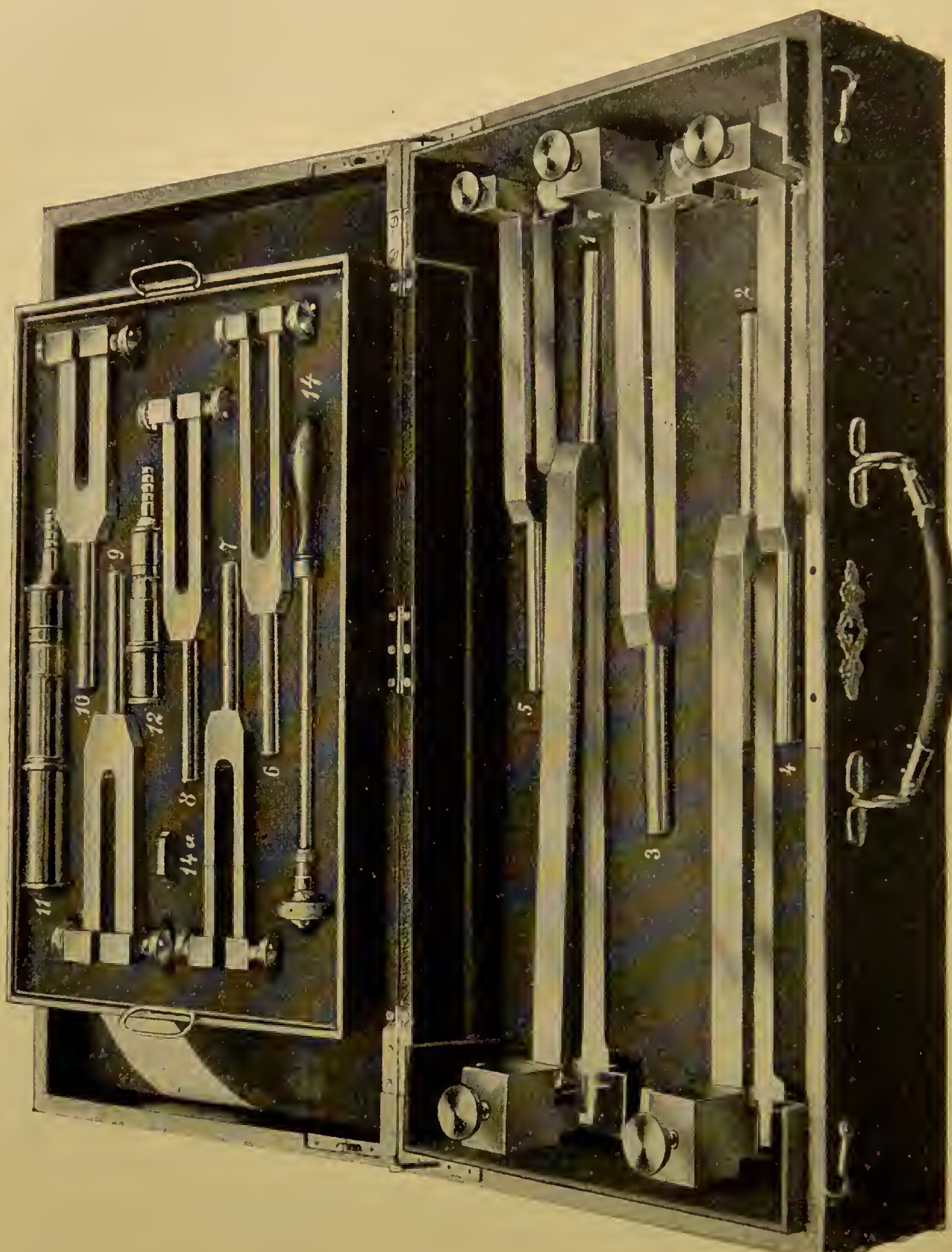
Um eine ganz direkte Vorstellung von der Bedeutung der Obertöne in einem Klang zu gewinnen, kann man Sirenenscheiben mit acht Löcherreihen benutzen, welche den Grundton und die sieben ersten Obertöne geben.

3. Der Umfang der Tonreihe.

Zur Untersuchung des Umfanges der Tonreihe, d. h. zum Nachweis der niedrigsten und der höchsten noch als Ton wahrnehmbaren Schwingungs-

zahlen, sowie um etwa vorhandene Löcher in der Tonreihe zu entdecken, hat Bezold eine kontinuierliche Tonreihe zusammengestellt.

Diese Tonreihe wird für die niedrigsten Töne C_2 mit 16 Schwingungen



Figur 261. Kontinuierliche Tonreihe, nach Bezold.

bis a_2 mit Stimmgabeln, von a^2 bis a^4 mit Stempel-Labial-Pfeifen, von a^4 aufwärts mit der Galton-Pfeife hergestellt.

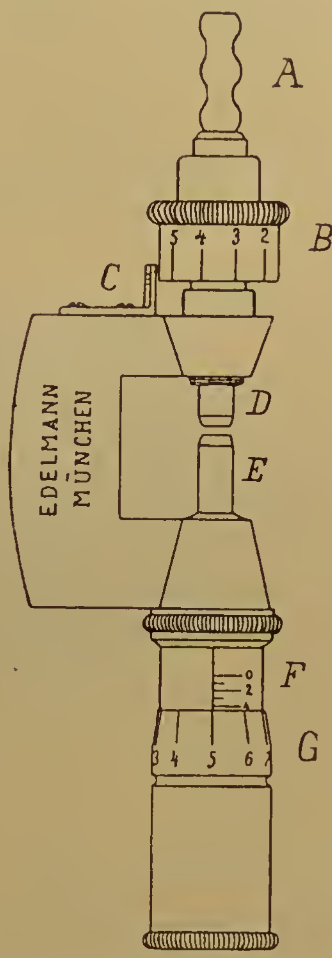
Die Stimmgabeln (Fig. 261) sind mit Laufgewichten versehen, wodurch erreicht wird, daß man mit einer und derselben Gabel über eine halbe Oktave auszukommen vermag.

Die Oktave ist immer in 12 Halbtöne geteilt und jeder Halbton durch einen über die beiden Zinken gehenden horizontalen Strich markiert, unter welchem die Tonbenennungen angegeben sind. Will man einen bestimmten Halbton einstellen, so ist bei den fünf höheren Gabeln die untere Kante der beiden Laufgewichte mit dem betreffenden Teilstrich zur Deckung zu bringen; bei den fünf tieferen muß die Schneide der abgeschrägten Kante des würfelförmigen Laufgewichtes auf den Teilstrich fallen, während das andere Laufgewicht so zu fixieren ist, daß die beiden in der Mitte der Laufgewichte angebrachten horizontalen Linien einander in einer Ebene liegend gegenüberstehen.

Die Erregung der höheren Gabeln geschieht, indem man mit kurzem kräftigem Schlage den Gummiring des federnden Schlägels gegen den Schraubenkopf des Laufgewichtes bzw. das Ende der Zinkenfläche fallen läßt, die der tieferen durch einen Faustschlag gegen das flache Laufgewicht.

Die beiden Labialpfeifen bestehen aus 1. dem eigentlichen Pfeifenkörper, einem Hohlzylinder, dessen freier Rand durch Abschrägung zu einer scharfen Schneide geformt ist, 2. dem in diesem Zylinder verschiebbaren Stempel und 3. der Hülse, deren unterer Teil zur Führung für den Pfeifenkörper dient, während der obere außen mit einem Rohrstück zur Befestigung des beim Anblasen notwendigen Gummischlauches endigt und innen einen der Schneide des Pfeifenrohres gegenüberstehenden, halbkreisförmigen, schmalen Schlitz hat, der der Kernspalte der Orgelpfeifen entspricht.

Je weiter man den Stempel aus dem Pfeifenrohr herauszieht, um so tiefer wird der Ton. Wie bei den Gabeln sind die einzelnen Halbtonhöhen durch Striche und Tonbezeichnungen auf dem Stempel angegeben.



Figur 262. Die Galton-Pfeife.

Betreffend diese Pfeifen ist noch zu bemerken, daß der Abstand der Pfeifenrohrschneide von der Kernspalte, die Maulweite, für tiefere Töne größer, für höhere kleiner gemacht werden muß, weshalb auch das Pfeifenrohr in der Hülse verschiebbar befestigt ist.

Auch die Stärke des Anblasedruckes steht in einer gewissen Beziehung zur Maulweite.

Das Anblasen findet am besten durch einen Blasebalg mit konstantem und regulierbarem Druck statt.

Die Galtonpfeife (Fig. 262) soll die hohen Töne angeben. Sie besteht aus einem Mundstück *D* und dem Pfeifenkörper *E*. Die Pfeife wird durch ein an *A* befestigtes Gebläse angeblasen. Die Luft strömt durch

Vermittlung eines ringförmigen Schlitzes aus dem Mundstück gegen die messerscharfe kreisförmige Schneide, mit der der Pfeifenkörper dem Mundstück genau gegenüber in passender, variabler Entfernung (Maulweite) endet. Die Maulweite kann mittels der Mikrometerschraube *B* innerhalb gewisser Grenzen variiert werden; desgleichen die Länge der Pfeife, indem ein in seinem Inneren befindlicher, luftdicht abschließender Stempel längs der Skala *F* durch die Schraube *G* verschoben werden kann.

Die Tonhöhe wird durch die Länge der Pfeife und die Größe der Maulweite bestimmt. Die wirkliche Tonhöhe der höchsten von der Pfeife abgegebenen Töne läßt sich indessen nicht sicher angeben, und man kann, wie K. L. Schäfer hervorhebt, nur noch sagen, daß, wenn der Untersuchte bei einer hohen Einstellung der Pfeife etwas gehört hat, er „über 10 000 Schwingungen hört“.

D. Einige andere physiologisch wichtige akustische Erscheinungen.

1. Die Resonanz.

Die Eigenschaft der Resonanz kommt bei allen solchen Körpern vor, welche, wenn sie einmal durch irgendwelchen Anstoß in Schwingung geraten sind, eine längere Reihe von Schwingungen ausführen, ehe sie zur Ruhe kommen. Wenn dergleichen Körper von regelmäßig periodischen Schwingungen getroffen werden, von denen jede einzelne viel zu schwach ist, um eine merkliche Bewegung des schwingungsfähigen Körpers hervorzubringen, so können dennoch sehr starke und ausgiebige Schwingungen des genannten Körpers entstehen, sofern die Periode seiner eigenen Schwingungen gleich ist der Periode jener schwachen Anstöße. Wenn dies aber nicht der Fall ist, so entsteht eine schwache oder ganz unmerkliche Bewegung.

Folgender einfacher Versuch stellt ein sehr deutliches Beispiel von der Resonanz dar. Man stelle sich ein Pendel her, indem man an das untere Ende eines Fadens einen schweren Körper, z. B. einen Ring befestigt, faßt das obere Ende des Fadens mit der Hand und setzt den Ring in schwache Pendelschwingungen; dann kann man die Pendelschwingungen allmählich sehr bedeutend vergrößern, wenn man jedesmal bei der größten Abweichung des Pendels von der Senkrechten eine ganz kleine Verschiebung der Hand nach der entgegengesetzten Seite macht. — Wenn man dagegen die Bewegungen der Hand absichtlich entgegengesetzt ausführt, so kommt das Pendel bald zur Ruhe.

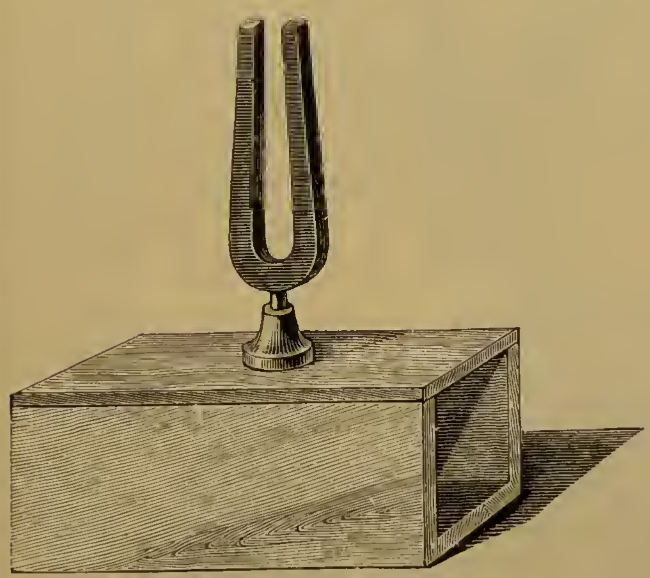
Die Erklärung des Verfahrens ist einfach. Ist das obere Ende des Fadens unverrückbar befestigt, so fährt das Pendel, einmal angestoßen, in seinen Schwingungen lange Zeit fort, und deren Größe vermindert sich nur sehr langsam. Die Größe der Schwingungen können wir uns gemessen denken durch den Winkel, den der Faden bei seiner äußersten Abweichung

von der Vertikallinie mit dieser bildet. Befindet sich nun der angehängte Körper in der äußersten Abweichung nach rechts, und verrücken wir die Hand nach links, so machen wir den Winkel zwischen dem Faden und der Vertikallinie offenbar größer, also auch die Schwingungsweite größer.

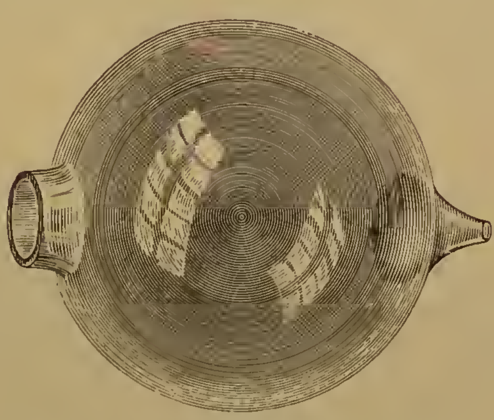
Wir brauchen hierbei die Bewegungen der Hand nicht in demselben Takte auszuführen, wie das Pendel schwingt, denn wir können auch auf je drei, je fünf oder mehr Pendelschwingungen einen Hin- und Hergang der Hand ausführen und dennoch starke Schwingungen erregen. Diese sind dann gewissermaßen als „Obertöne" der Handbewegungen zu betrachten.

Was bei diesem Versuch so augenfällig hervortritt, findet auch bei den Schwingungen von so kurzer Dauer wie die Tonschwingungen statt.

Das einfachste Beispiel eines solchen Mittönens bietet uns das Klavier dar. Wenn man darauf eine Taste herabdrückt, so daß die entsprechende Saite von ihrem Dämpfer befreit wird, und dann den Ton dieser Saite in das Klavier hineinsingt, so hört man, wie derselbe Ton im Klavier angegeben wird.



Figur 263. Stimmgabel auf Resonanzkasten.



Figur 264. Resonator, nach Helmholtz.

Bei einem mit zwei Saiten versehenen Dichord stimmt man die beiden Saiten so, daß sie einen und denselben Ton angeben. Dann schlägt man die eine an; infolge der von ihr ausgehenden Schwingungen wird die andere Saite auch erregt, was man an den Bewegungen kleiner, auf ihr reitender Papierschnitzel erkennt.

Am schwersten sind Stimmgabeln in Mitbewegung zu setzen. Um dies zu können, muß man sie auf Resonanzkästen befestigen, die selbst auf den Ton der Gabel abgestimmt sind (Fig. 263). Hat man zwei dergleichen, die genau gleiche Schwingungsdauer haben, und versetzt die eine Gabel durch Streichen mit einem mit Kolophonium genügend versehenen Violin- oder Cello- oder Baßbogen in Schwingungen, so fängt auch die andere an mitzuschwingen, und man hört diese den Ton fortsetzen, wenn man die Schwingungen der ersten dämpft.

Die Eigenschaft des Mitschwingens kann auch zur Analyse zusammengesetzter Schallmassen benutzt werden. Zu diesem Zwecke wendet man

Hohlkugeln oder Röhren aus Glas, Metall oder Zelluloid an, welche für bestimmte Töne abgestimmt sind (Resonatoren, Fig. 264). Man hält den Resonator vor das Ohr so, daß die trichterförmige Öffnung in den inneren Gehörgang hineingeführt wird. Findet sich nun in einer vorhandenen Schallmasse der Ton, dessen Resonator vor das Ohr gehalten wird, so wird dieser durch die Resonanz verstärkt, und man kann ihn also gewissermaßen von den übrigen gleichzeitig klingenden Tönen scharf unterscheiden (Helmholtz).

2. Schwebungen.

Um Schwebungen hervorzurufen, braucht man nur die eine von zwei gleichgestimmten Tonquellen etwas zu verstimmen und dann beide gleichzeitig tönen zu lassen.

Am schönsten treten sie bei Stimmgabeln hervor. Hat man zwei gleichgestimmte Stimmgabeln, so braucht man nur an die eine etwas Wachs zu kleben, beide anzuschlagen und auf die Holzplatte eines Tisches, wenn sie nicht auf Resonanzkästen stehen, zu setzen. Durch verschieden große Wachsstückchen kann man die Zahl der Schwebungen wesentlich variieren.

3. Kombinationstöne.

Wenn zwei Töne von verschiedener und nicht zu nahe liegender Höhe gleichzeitig angegeben werden, hört man einen wirklichen Ton, dessen Schwingungszahl die Differenz der Schwingungszahlen der beiden primären Töne ist.

Der Kombinationston liegt also sehr tief; beim Zusammenklingen des Grundtons und der Quinte ist sie die untere Oktave des Grundtons; bei Grundton und Quarte ist der Kombinationston die tiefere Duodezime des Grundtones usw.

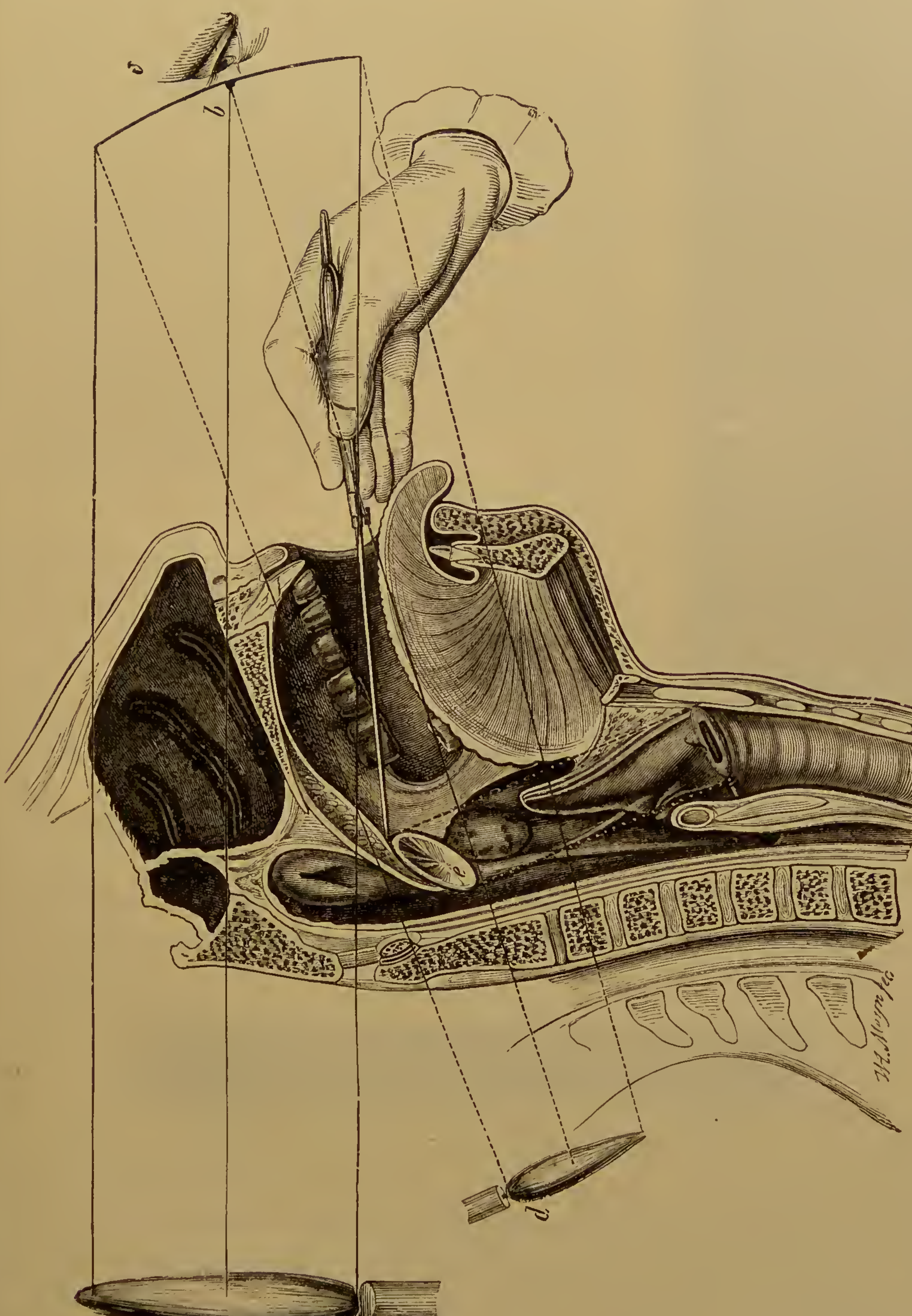
Zur Demonstration der Kombinationstöne eignen sich ganz besonders die gedackten Orgelpfeifen, bei welchen der tiefe Kombinationston sehr deutlich hervortritt und dem gesamten Klang einen eigentümlichen feierlichen Charakter verleiht.

Weitere Versuche über die Tonempfindungen lassen sich mit Hilfe von verschiedenen Sirenenscheiben ausführen, indem man z. B. die Zahl der angeblasenen Löcher durch Verkleben der zwischenliegenden vermindert und solcherart die Erkennungsmöglichkeit kürzester Töne untersucht, oder Intermittenztöne hervorruft usw.

III. Anhang. Die Stimme.

A. Der Larynxspiegel.

Um die Stimmritze und ihre Bewegungen bei der Atmung und der Lautbildung beobachten zu können, benutzt man den Kehlkopfspiegel, dessen Bau und Anwendung aus Figur 265 ersichtlich ist.



Figur 265. Larynxspiegel.

Die von einer Flamme *a* gegen den Stirnspiegel *b* (vgl. oben S. 292) fallenden Strahlen werden von diesem auf den runden im Rachen gehaltenen Spiegel *c* reflektiert. Seinerseits beleuchtet dieser die Stimmritze usw., die davon reflektierten Strahlen treffen den Spiegel *c*, und in ihm sieht dann der Beobachter durch das Loch in dem Stirnspiegel das Bild der Stimmritze usw.

Bei dem Versuch wird die Versuchsperson dem Beobachter gegenüber auf einen Stuhl gesetzt, so daß das Auge des Beobachters in der Höhe der Mundöffnung oder etwas höher steht. Die Versuchsperson öffnet den Mund sehr weit und streckt die Zunge aus, deren Spitze in der Falte eines Handtuches gehalten wird. Das Licht wird gegen das Gaumensegel geworfen und der Spiegel mit der rechten Hand so eingeführt, daß der Stiel sich gegen den linken Mundwinkel und der Spiegel gegen das Zäpfchen anlehnt. Man pflegt die Person ein offenes ä sprechen zu lassen, wobei der Kehlkopf sich etwas hebt. Manchmal muß man mit dem Spiegel das Zäpfchen etwas nach oben oder hinten heben.

Vor dem Gebrauch muß der Spiegel über einer kleinen Flamme erwärmt werden, um die Kondensation vom Wasserdampf zu vermeiden.

Schw.
112
140
168
224
280



Figur 266. Durdreiklang, von der Mundhöhle aufgenommen. 80 mm/Sek.

B. Registrierung der tönenden Schwingungen beim Singen.

Mittels einer genügend empfindlichen Schreibkapsel — ich habe dazu eine mit Zelluloidmembran von Sandström (vgl. S. 48) benutzt — kann man die Schwingungen nicht zu hoher Töne unschwer registrieren, indem man den Schlauch zur Kapsel einfach in den Mund nimmt und mit der einen geschlossenen, dicht an den Lippen



Figur 267. Tönende Schwingungen, vom Kehlkopf aufgenommen.

gehaltenen Hand um diesen Schlauch eine Art von Mundstück bildet. Dieser Verschluß soll nicht absolut sein, sondern der Luft einen, wenn auch verhältnismäßig engen Durchgang nach außen gestatten, da sonst die Exkursionen der Kapsel viel zu groß werden. Auch kann man, wie selbstverständlich, den Schlauch mit einem passenden Mundstück, wie zum

Beispiel dem in Figur 179 abgebildeten, verbinden. Auch dieses darf den Luftstrom nicht vollständig abschließen, weshalb an der Seite des Mundstückes ein genügend großes Loch anzubringen ist.

Man kann in dieser einfachen Weise Töne verschiedener Höhe registrieren und ihre gegenseitige Reinheit nach Messung der Kurven untersuchen; die Veränderungen der Tonhöhe beim Aushalten eines Tones feststellen; die Genauigkeit, mit welcher ein angegebener Ton nachgesungen wird, prüfen usw.

Als Beispiel der hiermit gewonnenen Kurven verweise ich auf Figur 266, welche von oben nach unten den Durdreiklang darstellt (Schwingungszahlen etwa 112, 140, 168, 224, 280); die Kurven sind bei einer Geschwindigkeit von etwa 80 mm pro Sekunde aufgenommen.

Es gelingt auch unschwer, mittels einer in der oben Seite 173 beschriebenen Weise am Halse vor dem Kehlkopf befestigten aufnehmenden Luftkapsel und einer gewöhnlichen Schreibkapsel die tönenden Vibrationen vom Larynx her zu registrieren. Dabei hat man noch den Vorteil, daß man nicht, wie beim Registrieren von der Mundhöhle aus, darauf acht geben muß, daß der Luftstrom die Schreibkapsel nicht zu stark angreift. Figur 267 stellt eine in dieser Weise erhaltene bei einer Geschwindigkeit von etwa 80 mm pro Sekunde geschriebene Kurve dar.

ACHTZEHNTES KAPITEL.

Die Gesichtsempfindungen.

I. Die Lichtbrechung im Auge.

A. Lichtquellen bei optischen Versuchen.

Auf die bei optischen Versuchen anzuwendenden Lichtquellen sind je nach der gerade vorliegenden Aufgabe verschiedene Anforderungen zu stellen.

In vielen Fällen braucht man eine gleichmäßig belichtete Fläche, wie sie bei diffusem Tageslicht, bzw. in einem mit künstlicher Beleuchtung gut belichteten Zimmer vorhanden ist.

Wenn nicht sehr große gleichmäßig belichtete Flächen in Frage kommen, sondern es sich nur um eine Fläche von $^1/_4$—$^1/_2$ qm handelt, bekommt man für vielerlei Versuche durch eine mit einem einfachen Reflektor versehene Glühlampe von 25 Kerzen eine ganz befriedigende Be-

lichtung. Die Lampe muß dann natürlich ziemlich nahe dem Objekte stehen und so gestellt werden, daß der Reflektor das direkte Lampenlicht vom Auge des Beobachters abblendet.

Oft genügt diese einfache Vorrichtung indessen nicht, und man muß, um eine gleichmäßig belichtete Fläche zu haben, verwickeltere Anordnungen, wie z. B. die folgenden, benutzen.

Vor eine Projektionslampe stellt man etwa 2 cm von den Kohlen entfernt zwischen diesen und den Beleuchtungslinsen ein Blättchen mattierten Glimmer oder Quarz, das dann für das Projektionssystem als flächenförmige Lichtquelle dient.

Bei Glühlampen oder Gasflammen kommen Platten von Milchglas oder Rauchglas oder Mattglas, welche vor der Lampe eingeschoben werden, in Betracht. Auch kann hier Schreibpapier und dergleichen benutzt werden. Hierbei wird vorausgesetzt, daß die hierbei erscheinende, mehr oder weniger



Figur 268. Episkotister, nach Aubert.

starke rötliche Färbung nicht schadet, was ja auch der Fall ist, wenn es nur gilt, die allgemeinsten Erscheinungen zu demonstrieren.

Die elektrische Glühlampe mit durchsichtiger Birne eignet sich im allgemeinen nicht ohne weiteres als Beleuchtungsquelle, denn der scharf hervortretende Glühfaden vereitelt die Gleichmäßigkeit der Belichtung in hohem Grade. Daher benutzt man Lampen mit Birnen aus mattgeschliffenem Glas und ist dennoch oft gezwungen, vor diesem noch eine Matt- oder Milchglasscheibe aufzustellen, damit man vom Glühfaden nichts sieht.

Bei der Benutzung einer Argand'schen Gasflamme verfährt man in gleicher Weise, denn an und für sich bietet ja diese Flamme sehr große Verschiedenheiten der Lichtstärke dar. Auch kann die Flamme direkt benutzt werden, wenn man vor dieselbe einen Schirm mit einem so großen Loch stellt, daß nun der größte Teil der Flamme abgeblendet und nur ihr gleichmäßig glühender Teil durch das Loch sichtbar ist.

Zur Veränderung der Lichtstärke werden Platten aus Mattglas, Milchglas oder Papier benutzt; ferner Irisblenden, welche bis zu einem Durch-

messer von 16 cm zu haben sind; Versehiebung der Liehtquelle von und nach der beliehteten Plattc; Veränderung des Widerstandes bei Glühlampen dureh einen in die Leitung eingesehalteten Rheostaten; Weehsel der Glühlampen, bzw. Auf- oder Niedersehrauben der Gasflamme usw.

Hierher gehört endlieh der Episkotister (Fig. 268). Dieser besteht aus zwei gesehwärzten Seheiben aus Bleeh, in welehen je 4 Oktanten ausgeschnitten sind. Die Seheiben sitzen auf der gleiehen Aehse und sind gegeneinander drehbar, so daß verschieden große Stüeke jedes Oktanten frei für den Durehtritt des Liehtes bleiben. An einem Gradbogen liest man die Sektorenbreite ab.

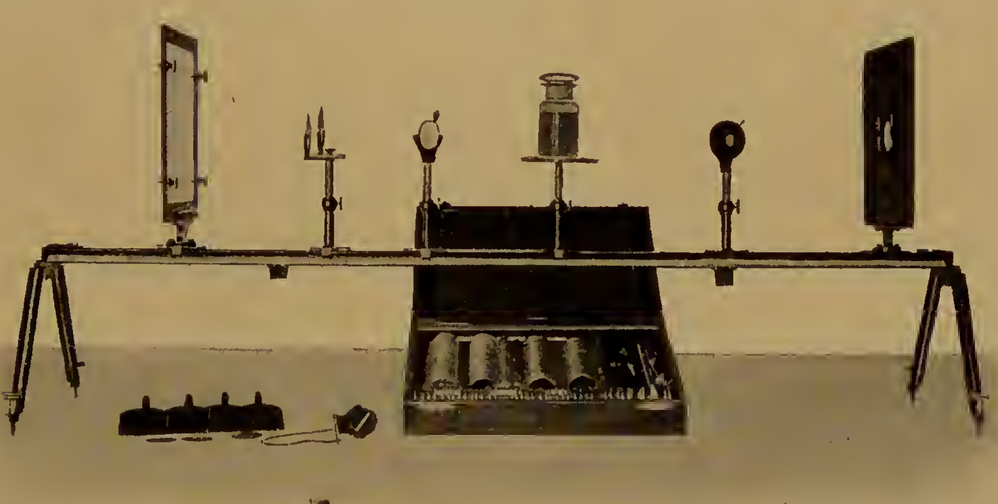
Der Episkotister wird mit irgendeinem Motor gedreht, und zwar soll er mindestens 12—20 Umdrehungen pro Sekunde machen.

Da die Liehtstärke proportional der Größe der Episkotisteröffnung ist, kann eine gegebene Lichtstärke durch ihn auf $^1/_{50}$—$^1/_{100}$ herabgesetzt werden.

B. Versuche über die Lichtbrechung in Linsen.

1. Optische Bank.

Bei allen Versuehen über den Gang der Liehtstrahlen ist es sehr bequem, die optische Bank zu benutzen. Eine optische Bank (Fig. 269)



Figur 269. Optische Bank, nach v. Frey.

stellt einen von einem dazu geeignctcn Stativ gctragenen oder einfaeh auf eine Tisehplatte befestigten horizontalen Stab von prismatischem Quersehnitt dar. An diesem Stabe werden Halter für die Linsen usw. aufgcstellt und können längs der Bank immer in gerader Riehtung gegeneinander verschoben werden. Auch die Liehtquelle soll, wenn möglieh, Platz auf der Bank finden. Dies läßt sieh indessen nicht immer tun, wenn cs sieh nämlieh um solche Entfernungen zwischen Liehtquelle und Linse handelt, daß die von jener ausgehenden Strahlen mit Rücksicht auf die Öffnung der Linse als parallel aufgefaßt werden können.

Um das von der Linse entworfene Bild aufzufangen, ist ein Schirm aus durchsichtigem Papier sehr zweckmäßig, denn derselbe hat keine in Betracht kommende Dicke, und das Bild kann also ebensogut von der vorderen als von der hinteren Fläche her beobachtet werden.

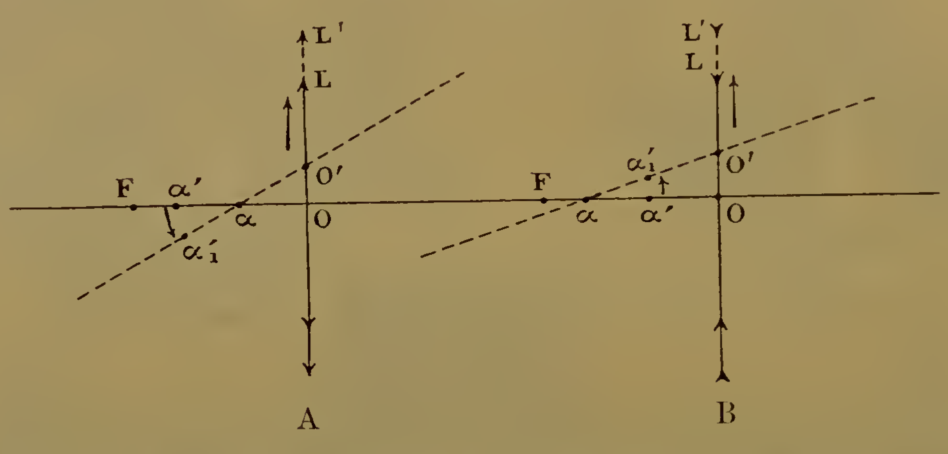
2. Die Numerierung der Linsen nach ihrer brechenden Kraft.

Die brechende Kraft einer Linse wird durch die Entfernung des Brennpunktes charakterisiert: je kürzer diese Entfernung ist, um so größer ist die brechende Kraft der Linse.

Die brechende Kraft einer Linse von 1 m Brennweite stellt die Einheit der brechenden Kraft von Linsen dar und wird als Dioptrie (D) bezeichnet. Eine Linse von 2 Dioptrien hat also eine Brennweite von $^1/_2$ m, eine von 3 Dioptrien eine Brennweite von $^1/_3$ m usw.

3. Sammellinsen und Zerstreuungslinsen.

Die sphärischen Linsen sind entweder Sammellinsen, mit positiver Brennweite, oder Zerstreuungslinsen, mit negativer Brennweite.



Figur 270. Die Wirkung der Verschiebung einer Sammellinse (*A*) und einer Zerstreuungslinse (*B*).

Sammellinsen sind alle bikonvexe Linsen, alle plankonvexe Linsen sowie gewisse konkav-konvexe Linsen, welche gegen den Rand dünner werden.

Zerstreuungslinsen sind alle bikonkave Linsen, alle plankonkave Linsen und alle konkav-konvexe Linsen, welche gegen den Rand dicker werden.

Um zu entscheiden, ob eine vorhandene Linse eine Sammellinse oder eine Zerstreuungslinse ist, hält man die Linse nahe vor das Auge und beobachtet durch sie hindurch einen Gegenstand. Verschiebt man nun die Linse nach oben oder unten, so verschiebt sich der Gegenstand in umgekehrter Richtung, wenn die Linse eine Sammellinse ist, in derselben Richtung aber, wenn sie eine Zerstreuungslinse ist.

In Figur 270 A entsteht durch die Brechung in der konvexen Linse *L* das Bild eines auf der Augenachse liegenden Punktes *a* im Punkt *a'*. Wird

nun die Linse nach oben verschoben, so wandert das von ihr entworfene Bild von a' nach a'_1, also in entgegengesetzter Richtung gegen die Linsenverschiebung.

Wenn dagegen eine Zerstreuungslinse L vorliegt, schiebt sich das von ihr entworfene Bild a', wenn die Linse nach oben verschoben wird, ebenfalls nach oben, a'_1 (Fig. 270 B), also in derselben Richtung als die Linse.

4. Bestimmung der Brennweite einer Linse.

Bei einer Sammellinse bestimmt man die Brennweite einfach dadurch, daß man mittels ihr das Bild einer sehr weit entfernten Lichtquelle auf einen Schirm auffängt und die Lage des Schirmes solange verändert, bis das Bild vollkommen scharf ist. Dann ist die Entfernung zwischen Linse und Schirm gleich der Brennweite.

Bei einer Zerstreuungslinse kann man diese Methode in der Weise anwenden, daß man zuerst durch eine Sammellinse das Bild eines sehr entfernten Punktes auf einen Schirm auffängt und dann die zu untersuchende Zerstreuungslinse dicht an die erste Linse legt. Das Bild wird jetzt verschwommen, und der Schirm muß mehr oder weniger weit entfernt werden, damit das Bild wieder scharf sei. Dann ist die neue Entfernung gleich der Brennweite der beiden aufeinandergelegten Linsen, und die Brennweite der zu untersuchenden Zerstreuungslinse läßt sich nach folgender Formel berechnen:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{\Phi} - \frac{1}{\Psi},$$

wo A die Brennweite der kombinierten Linse, Φ die der Sammellinse und Ψ die der Zerstreuungslinse ist. Letztere ist also:

$$\Psi = \frac{A\Phi}{A - \Phi}.$$

Wenn man nicht über eine genügend weit entfernte Lichtquelle verfügt und also auch nicht die Brennweite direkt bestimmen kann, läßt sich diese Bestimmung auch unter Anwendung eines nahe belegenen Gegenstandes mit der gewöhnlichen Linsenformel ausführen. Wenn F die Brennweite der Linse, f_1 die Lage des Objektes und f_2 die des Bildes ist, so hat man ja:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2},$$

und also:

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}.$$

Nach dieser Methode erhält man, besonders wenn es sich um die schwächeren Linsen bis zu etwa 7 D. handelt, sehr gute Werte. Die Brennweite einer Linse von 5 D. ist 200 mm, die von 6 D. 166 mm und die von 7 D. 143 mm, also Differenzen der Brennweiten von bzw. 34 und 23 mm, die doch nicht unbemerkt bleiben können. Bei den stärkeren Linsen sind die Differenzen der Brennweiten kleiner, z. B. bei 10 D. 100 mm, für 11 D. 91 mm und für 12 D. 83 mm, und die genaue Bestimmung wird also hier schwieriger.

5. Der Brillenkasten.

Die Linsen, welche bei der Untersuchung der statischen Refraktion des Auges benutzt werden, enthalten dem praktischen Bedarf entsprechend 30 Paare sphärische konkave und konvexe Linsen, welche bei den schwächeren Linsen in feinerer Abstufung als bei den stärkeren vorhanden sind. Man hat also in der Regel folgende Gläser (in D.): 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25, 2.50, 2.75, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 5.50, 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, 15.00, 16.00, 18.00, 20.00. Wenn bei den höheren Graden eine feinere Abstufung erwünscht ist, so läßt sich eine solche ohne Schwierigkeit durch Kombination von zwei Gläsern erreichen, denn bei zwei dicht übereinander gelegten Gläsern ist die Brechkraft gleich der Summe der beiden Gläser.

6. Die Randstrahlen.

Die Annahme, daß homozentrisches Licht auch nach der Brechung in einem zentrierten System fortfahrend homozentrisch bleibt, beruht auf der Voraussetzung, daß nur solche Strahlen in das System einfallen dürfen, welche mit dessen optischer Achse einen sehr kleinen, richtiger unendlich kleinen Winkel bilden. Je vollständiger die Randstrahlen abgeblendet sind, um so schärfer wird also das Bild.

Die Bedeutung dieses Umstandes läßt sich unter Anwendung einer genügend großen Irisblende mit der elektrischen Projektionslampe, wie auch mit einer gewöhnlichen Glühlampe und einem Leseglas von großer Öffnung leicht demonstrieren.

Man fängt das Bild der Kohlenspitzen bzw. des Glühfadens auf einen Schirm auf und macht es möglichst scharf. Bringt man dann in den Weg des Strahlenbündels vor der Linse die Blende, so sieht man, wie bei jeder Verminderung deren Öffnung das Bild schärfer wird, bzw. durch zweckmäßige Verschiebung des Schirmes noch schärfer gemacht werden kann.

C. Die Lichtbrechung im Auge.

1. Direkte Beobachtung des Netzhautbildes.

Um das durch die Augenmedien auf die Netzhaut entworfene Bild direkt zu beobachten, exstirpiert man an einem soeben getöteten Albinoskaninchen das Auge, indem man die Bindehaut an der Grenze der Sklera mit einer Hakenpinzette faßt und dann mittels einer krummen Schere der Reihe nach die Ansatzpunkte der Augenmuskeln und endlich den Sehnerven durchschneidet. Mittels der Schere schneidet man die am hinteren Pol des Auges noch vorhandenen Bindegewebsfetzen weg und richtet nun das Auge, ohne auf dasselbe einen Druck auszuüben, gegen eine in 5 m Entfernung stehende Glühlampe. Man sieht dann am hinteren Teil des Auges das verkleinerte Bild der Lampe.

Noch besser ist es, das Auge in eine nach dessen Dimensionen passende Rinne von etwa 2 cm Länge, deren beide Enden mit Deckgläschen geschlossen sind, zu bringen; das Bildchen auf dem Augenhintergrunde kann jetzt ohne jede Zerrung des Auges beobachtet werden.

2. Bestimmung der optischen Konstanten des Auges.

a) Das Brechungsvermögen der Augenmedien.

Dieses wird nach Abbe in folgender Weise bestimmt. Zwei Prismen aus Glas von hohem Brechungsexponenten, beide ganz gleich geschliffen, werden mit ihren Hypothenusenflächen aufeinandergelegt. Zwischen beiden Prismen findet sich ein kleiner Raum, der mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt wird (Fig. 271 B), indem man das eine Prisma entfernt und mit einem Glasstabe einen Tropfen dieser Flüssigkeit auf die Mitte des anderen legt. Dabei soll der Apparat durch Drehen des beweglichen Armes so gestellt werden, daß die Hypothenuse des festen Prismas nach oben sieht.

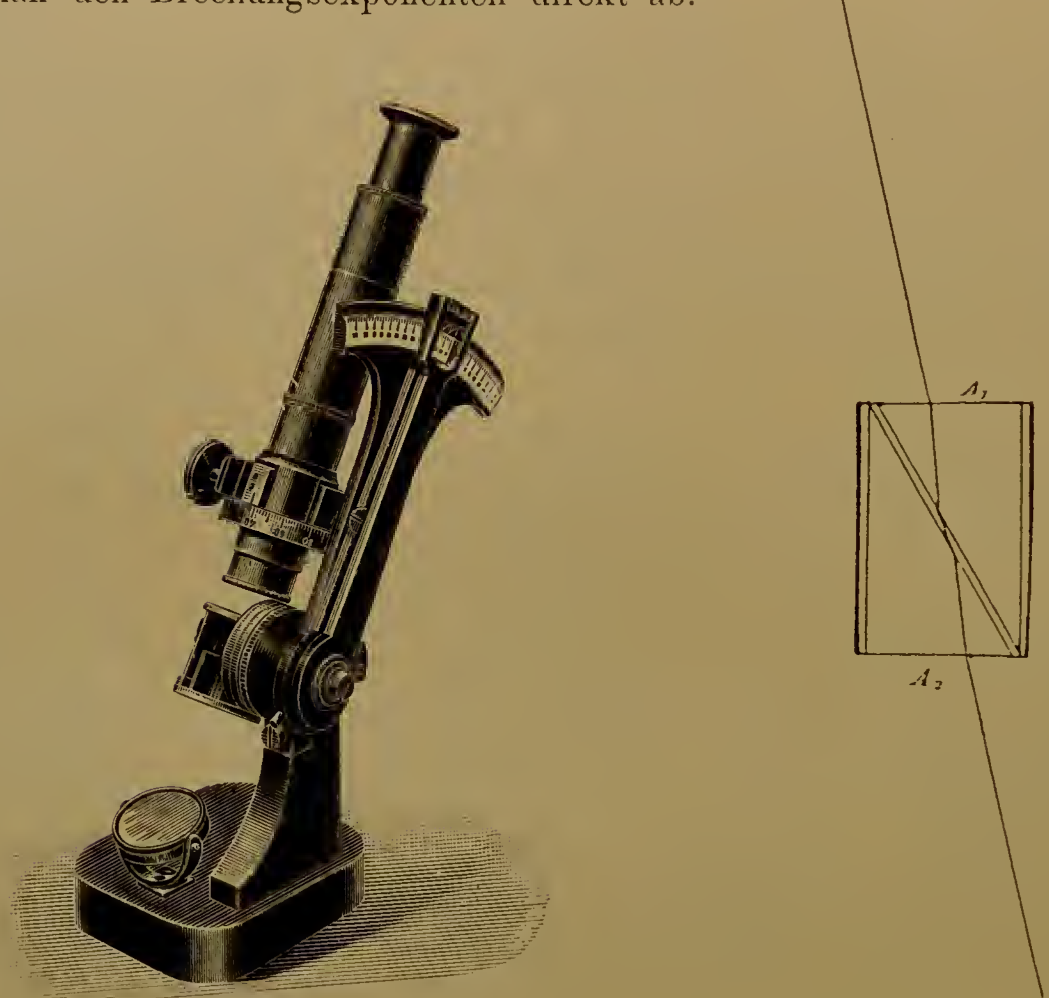
Dann wird das bewegliche Prisma wieder aufgesteckt.

Jetzt hebt man den Sektor mit dem Fernrohr aus seiner horizontalen Lage in die Höhe, so daß das Okular dem Beobachter zugekehrt wird, und dreht den beweglichen Arm zunächst nach unten an den Anfang der Gradteilung zurück.

Durch das Fernrohr sehend richtet man den Spiegel am Fuß des Instrumentes so, daß das ganze Sehfeld gleichmäßig erhellt ist und zieht das Okular so weit heraus, bis man das doppelte Fadenkreuz vollkommen scharf sieht.

Nun bewegt man den beweglichen Arm und dadurch die an ihm befestigte Prismakombination nach aufwärts. Der durch den Spiegel in der Richtung der Fernrohrachse gelenkte Strahl wird bei dieser Drehung des Prismas die Flüssigkeitsschicht unter einem verschiedenen Winkel treffen. Kommt er nun schließlich in die Stellung, bei welcher der (außerhalb des

Prismensystems) in der Achse verlaufende Stahl gerade den Grenzwinkel der Totalreflexion mit der Flüssigkeitsschicht bildet, so wird das Gesichtsfeld des Fernrohres in zwei Hälften geteilt, eine untere und eine obere, von denen die eine alle Strahlen erhält, welche unter kleinerem, die andere alle diejenigen aufnimmt, welche unter größerem Winkel auf die Flüssigkeitsschicht auffallen. Die letzteren werden total reflektiert. Der bewegliche Arm wird nun so weit geführt, bis die Grenze zwischen Hell und Dunkel die Ecken des doppelten Fadenkreuzes schneidet. An der mit Nonius versehenen Skala des Instrumentes liest man den Brechungsexponenten direkt ab.



A B

Figur 271. Abbés Refraktometer.

Das Instrument bezieht sich auf das Natriumlicht und ist für dasselbe geeicht. Bei gemischtem Tageslicht stellt die Grenzlinie, wegen der verschiedenen Brechbarkeit der einzelnen Strahlen, einen farbigen Saum dar. Durch eine im Fernrohr eingeschlossene Prismenkombination wird die Farbenzerstreuung bei Drehen an der Schraube links in Figur 271 A aufgehoben, und die Grenzschicht tritt daher auch bei Tagesbeleuchtung scharf hervor.

Man kann den Apparat auch zur Bestimmung des Brechungsexponenten fester Körper anwenden. Zu diesem Zwecke nimmt man das freie Prisma ab und legt statt dessen eine ebene Fläche des zu untersuchenden

Körpers gegen die freie und mit einer Flüssigkeit von hohem Brechungsexponenten (Cassia-Öl) benetzte Fläche des festen Prismas.

Um die Angaben des Refraktometers zu kontrollieren, benutzt man destilliertes Wasser, dessen Brechungsexponent bei 18° C 1.3330 beträgt.

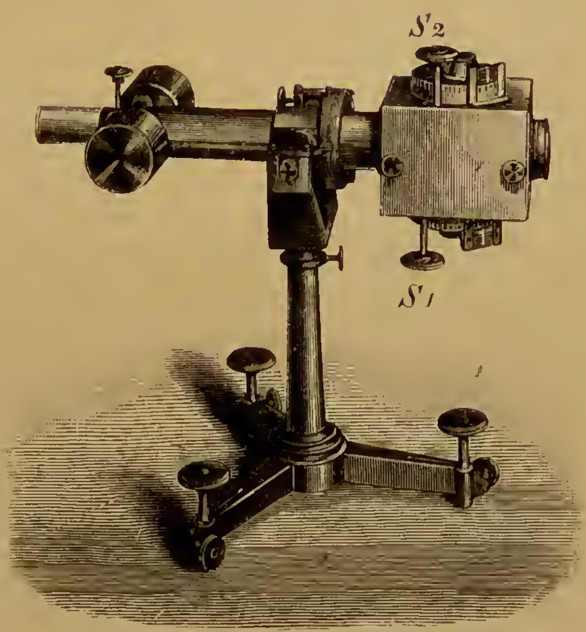
b) Der Krümmungshalbmesser der Hornhaut.

Die zur Messung der Radien der lichtbrechenden Medien des Auges gebauten Instrumente gründen sich auf folgendes Prinzip. Man läßt einen Gegenstand von bestimmter Länge sich in dem einen oder anderen Augenmedium spiegeln und mißt die Größe dessen Spiegelbildes. Da die Größe des Gegenstandes β_1 und seine Entfernung vom Auge p bekannt sind, läßt sich der betreffende Radius r nach der Gleichung

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{r}{r + 2p},$$

wo β_2 die Größe des Bildes bezeichnet, berechnen.

Es bereitet natürlich keinerlei Schwierigkeit, die Größe des Objektes (= der Entfernung zwischen zwei Flammen) und dessen Entfernung vom Auge zu bestimmen, und die ganze Frage bezieht sich also darauf, die Größe des Bildes zu bestimmen.



Figur 272. Ophthalmometer, nach Helmholtz.

Zu diesem Zwecke hat Helmholtz einen besonderen Apparat, das Ophthalmometer, konstruiert, das überhaupt für die genaue Messung kleiner Distanzen geeignet ist (Fig. 272).

Vor einem Fernrohr befindet sich am Objektiv ein Kasten (Fig. 272, rechts), der zwei dicke, um eine vertikale Achse drehbare Glasplatten enthält. Von den Glasplatten steht die eine vor der oberen, die andere vor der unteren Hälfte des Objektives, und beide können durch die Schrauben S_1 oder S_2 stets um gleiche Winkel, die eine nach rechts, die andere nach links gedreht werden.

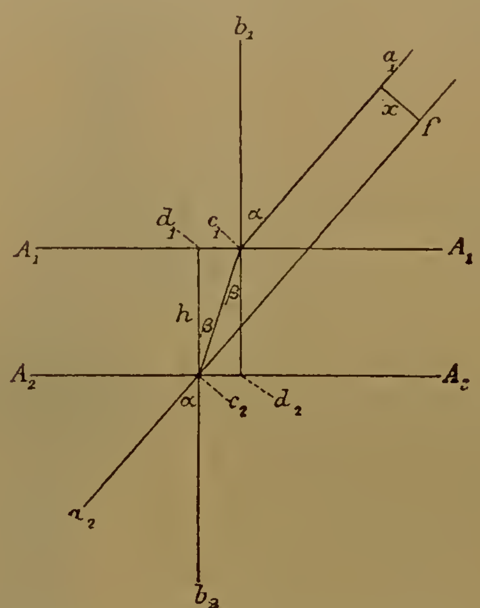
Wenn man nun durch das Fernrohr und die Platten ein Objekt cd betrachtet (Fig. 273) und die Platten, wie erwähnt, dreht, so entstehen zwei Bilder von cd, nämlich $c_1 d_1$ durch die Platte $a_1 b_1$, und $c_2 d_2$ durch die Platte $a_2 b_2$. Stellt man dabei die Platten so ein, daß das Ende d_1 des ersten Doppelbildes mit c_2 des zweiten zusammenfällt, so läßt sich daraus die Länge cd berechnen, ohne daß man dabei die Entfernung zwischen A und cd zu kennen braucht.

Es sei nämlich (Fig. 274) $A_1\ A_1\ A_2\ A_2$ die Glasplatte, $a_1\ c_1$ der einfallende, $c_1\ c_2$ der gebrochene, $c_2\ a_2$ der ausgetretene Strahl; $b_1\ c_1\ d_2$ das



Figur 273. Schema zum Ophthalmometer.

erste, $b_2\ c_2\ d_1$ das zweite Einfallslot. Der Einfallswinkel $b_1\ c_1\ a_1$, welcher dem Winkel $b_2\ c_2\ a_2$ offenbar gleich ist, wird mit a, der Brechungswinkel $d_2\, c_1\, c_2$, welcher gleich ist $c_1\, c_2\, d_1$, mit β bezeichnet, und die Dicke der



Figur 274. Schema zum Ophthalmometer.

Platte mit h. Wird der Strahl $a_2\ c_2$ rückwärts verlängert, so scheint der leuchtende Punkt a_1 in dieser Linie zu liegen. Fällt man von a_1 ein Lot $a_1\ f$ auf die Verlängerung von $a_2\ c_2$, dessen Länge x sei, so ist dies x die scheinbare seitliche Verschiebung des leuchtenden Punktes. Es ist

$$x = c_1\, c_2 \cdot \sin \angle\, c_1\, c_2\, f,$$

$$c_1\, c_2 = \frac{h}{\cos\beta}$$

$$\angle\, c_1\, c_2\, f = \angle\, d_1\, c_2\, f - \angle\, d_1\, c_2\, c_1$$

$$= a - \beta.$$

$$\text{also } x = h \cdot \frac{\sin(a - \beta).}{\cos\beta}$$

Der Winkel a wird am Apparat direkt abgelesen; wenn er gegeben ist und n der Brechungsexponent der Platte gegen Luft ist, findet man β durch die Gleichung

$$\sin a = n \cdot \sin\beta.$$

Benutzt man zwei drehbare Platten, wie hier angenommen ist, so ist die Entfernung E zweier beobachteter Punkte, deren Bilder man aufeinander gestellt hat, doppelt so groß als x, also

$$E = 2\,h \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}$$

Um den Brechungsexponenten n zu berechnen, stellt man einen guten Maßstab als Objekt auf und beobachtet die Winkel, um welche die Glasplatten gedreht werden müssen, um jeden Teilstrich des Maßstabes auf den nachfolgenden, oder den zweiten, oder den dritten usw. einzustellen. In der obigen Gleichung sind also x, h (durch direkte Messung) und α bekannt, und man kann daher n nach folgender Formel berechnen:

$$n = \frac{\sin \alpha}{2\,h \sin \alpha - x} \cdot \sqrt{4\,h^2 + x^2 - 4\,h\,x \sin \alpha}$$

Die spezielle Anordnung bei der Anwendung des Ophthalmometers ist folgende.

Als Objekt benutzt man die Entfernung zwischen zwei kleinen Glühlampen oder zwei Gasflammen, die in der Ebene der Ophthalmometerachse liegen und etwa 0.7—1 m weit voneinander stehen. In der Mitte der sie verbindenden Linie wird das Ophthalmometer aufgestellt.

An der entgegengesetzten Seite desselben Tisches sitzt die Versuchsperson, so daß die Entfernung zwischen dem Ophthalmometer und dem zu untersuchenden Auge gleich etwa 1.3—1.5 m ist.

Beim Versuch fixiert das Auge eine an der Vorderseite des Apparates angebrachte Marke; zur Feststellung des Kopfes dient dabei ein Beißbrett (vgl. unten S. 364) oder eine Kinnstütze mit vertikalem Stab für den unteren Orbitalrand.

Durch Drehen der Platten werden nun die Bilder der Flammen soweit verschoben, daß ihr Abstand gerade verdoppelt wird, wobei also aus den zwei Flammenbildern drei entstehen, indem zwei der Bilder zusammenfallen.



Figur 275.

Noch besser ist es, wenn man wie in Figur 275 das Objekt auf das eine Ende durch eine Flamme a, auf das andere durch zwei Flammen b, c begrenzt und bei der Verschiebung der Glasplatten das verdoppelte Bild so einstellt, daß a zwischen b und c fällt, denn dann läßt sich die Einstellung wesentlich sicherer machen.

Da dieselbe Stellung der Doppelbilder, welche bei einer Drehung um α^0 stattfindet, auch bei einer Drehung um $-\alpha^0$ sowie bei Drehungen um

$180-\alpha^0$ und um $\alpha-180^0$ eintreten, ist es zu empfehlen, bei jeder Messung diese vier Stellungen anzuwenden und aus den vier Werten das Mittel zu nehmen.

Zur ersten Übung in der Anwendung des Ophthalmometers ist die Bestimmung des Krümmungsradius einer konvexen Linse sehr zweckmäßig; dann folge die Messung des Krümmungsradius der menschlichen Hornhaut in dem horizontalen Meridian.

Wegen der geringen Lichtstärke der Linsenbilder ist die Messung des Krümmungsradius der Linse viel schwieriger; auch ist die Berechnung der Beobachtungen lästig, da hierbei auch der Strahlengang in der Hornhaut usw. berücksichtigt werden muß. Wenn überhaupt ophthalmometrische



Figur 276. Placidos Keratoskop.

Messungen im physiologischen Praktikum aufgenommen werden, können sie sich daher auf die soeben angeführten Versuche beschränken.

Um die Assymetrie der Hornhaut, d. h. die Differenz der Krümmungsradien in den verschiedenen Meridianen derselben, zu messen, haben Javal und Schiötz ein besonderes Instrument gebaut, welches wohl nur selten zu der instrumentalen Ausrüstung eines physiologischen Institutes gehören dürfte und daher hier nicht näher beschrieben werden kann.

Dagegen läßt sich durch das Keratoskop von Placido unschwer eine direkte Orientierung über die Form der Hornhaut gewinnen. Dieses Instrument (Fig. 276) besteht aus einer Scheibe, an welcher mehrere konzentrische Kreise aufgetragen sind; in ihrer Mitte hat die Scheibe ein Loch, durch welches der Beobachter blickt. Die Scheibe wird stark beleuchtet und das Licht von ihr gegen das zu untersuchende Auge reflektiert. Wenn die Krümmungsradien in allen Meridianen der Hornhaut gleichgroß sind, d. h.

keine größeren Unterschiede darbieten, so ist das korneale Spiegelbild der einzelnen Kreise auch kreisförmig. Findet sich aber eine größere Assymetrie vor, so stellt das Bild nicht mehr Kreise, sondern Ovale dar, und zwar entspricht die lange Achse der Ovale dem Meridian mit dem größten Krümmungsradius.

Die optische Bedeutung der Hornhaut ist, wie aus folgenden Versuchen hervorgeht, sehr groß.

Man hält das exstirpierte Auge eines Albinokaninchens in die oben (S. 313) erwähnte Rinne mit Deckgläschen an beiden Enden. Nachdem man sich davon überzeugt hat, daß das Bild eines entfernten Gegenstandes auf dem Hintergrund des Auges leidlich scharf ist, füllt man die Rinne mit 0.9 prozentiger Kochsalzlösung. Diese hat etwa den gleichen Brechungsindex als die Hornhaut selbst, und infolgedessen fällt nun die Lichtbrechung in dieser fort. Das Resultat ist, daß das Bild stark verwischt wird.

Saugt man dann mit einer Pipette die Lösung fort, so tritt das Bild wieder scharf hervor. Es lag hier also keine zerstörende Wirkung der Kochsalzlösung auf das Auge vor.

Der gleiche Versuch läßt sich am Menschen ausführen, indem man vor das Auge ein passend geformtes Trögchen mit der vorderen Wand aus Glas hält und dies mit sterilisierter, vollkommen klarer Kochsalzlösung füllt. Sofort werden alle Objekte der Außenwelt im höchsten Grade undeutlich.

3. Modell über die Lichtbrechung im Auge.

Um den Gang des Lichtes im Auge anschaulich zu machen, hat Kühne einen oben offenen Kasten mit der vorderen Wand aus einer planen Glasscheibe benutzt. Die eine Seitenwand ist durch ein konvexes Uhrglas von genügender Größe geschlossen.

In dem Kasten hängen ein Schirm aus Mattglas, eine bikonvexe Linse (Leseglas), welche die Augenlinse vertreten soll, und eine mit vielen konzentrischen Löchern versehene Scheibe. Alle diese Einsätze sind in der Längsrichtung des Kastens verschiebbar.

Man füllt den Kasten mit einer wässerigen Eosinlösung, die fluoresziert, und wirft von einer großen Lampe Licht in den Kasten hinein. Man sieht dann die den Löchern in der Scheibe entsprechenden Strahlen durch das Wasser gehen. Man kann sie auf dem Schirm zu einem Bild vereinigen und die Bedeutung der Linse demonstrieren, indem man diese wegnimmt und dann wieder einsetzt. Da sich vor dem die Hornhaut darstellenden Uhrglas noch eine mit planem Glas verschlossene Kammer vorfindet, hat man ferner die Gelegenheit, sich von der Bedeutung der Lichtbrechung in der Hornhaut zu überzeugen, wenn man diese durch Eingießen von Wasser in die Kammer ausschließt.

Einem großen Auditorium lassen sich die Versuche mit diesem Auge am besten dadurch vorführen, daß man die durchlöcherte Scheibe wegläßt und den ganzen Lichtkegel durch den Kasten fallen läßt.

D. Die Sehschärfe.

Das Vermögen des Auges, zwei verschiedene Punkte voneinander zu trennen, wird als dessen Sehschärfe bezeichnet und als der Winkel, unter welchem der Abstand zwischen diesen Punkten vom Visierpunkt des Auges gesehen wird, gemessen.

Zwecks genauer Bestimmung der Sehschärfe soll das Objekt keine besonderen Eigenschaften, welche seine Erkennung erleichtern, besitzen und also am besten aus Punkten oder parallelen Linien bestehen, wie z. B. bei folgender Anordnung (Cl. du Bois-Reymond).

Eine Glühlampe von 32—50 Normalkerzen mit Birne aus Mattglas wird in einen Kasten eingeschlossen. In dessen vorderer Wand findet sich eine Milchglasplatte und vor dieser eine Messingplatte, welche in einer Ent-



a *b* *c*

Figur 277. Probebuchstaben.

fernung von 2.5 mm voneinander Löcher von 0.2 mm Durchmesser hat. Wird diese Scheibe in 5, 4 oder 3 m Entfernung betrachtet, so ist der Gesichtswinkel zwischen je zwei Löchern etwa 1′ 47″, 2′ 4″, 2′ 47″, und man hat nun die längste Entfernung aufzusuchen, bei welcher die Punkte noch distinkt gesehen werden können. [Bei vorliegender Anomalie der statischen Refraktion muß diese erst korrigiert werden.]

Man kann dann auch berechnen, wieviel Punkte auf 0.01 qmm der Fovea centralis noch gesehen werden können, da die Größe des Bildes β_2 sich zur Größe des Objektes β_1 (d. h. des gesamten von Löchern durchbohrten Teils des Messingbleches) wie die Entfernung des Bildes vom Hauptpunkt (Vertex) des reduzierten Auges, 23 mm, zum Abstand des Objektes verhält.

In der Praxis benutzt man zur Bestimmung der Sehschärfe in der Regel Buchstaben, welche so konstruiert sind, daß sie bei einem auf der Tabelle angegebenen Abstand unter einem Gesichtswinkel von 5 Minuten gesehen werden. Sie sind der Höhe wie der Länge nach in je 5 gleichgroße Teile geteilt, und die für das Erkennen der Buchstaben charakteristischen Einzelheiten werden unter einem Gesichtswinkel von 1 Minute gesehen (vgl. Fig. 277 *a*). Hierbei gilt indessen, daß beim Erkennen der Buchstaben die allgemeine Form derselben zu einem wesentlichen Grade maß-

gebend ist, so daß man hierdurch keine vollkommen sichere Angabe über die wirkliche Gesichtsschärfe bekommt.

Von den Haken, wie sie in der Figur 277 *b* abgebildet sind und in den Sehproben mit ihrer Öffnung nach verschiedenen Seiten gewendet sind, gilt im großen und ganzen dasselbe. Nur bei Figuren von dem in Figur 277 *c* dargestellten Aussehen, welche zu ihrer Erkennung eine einzige Unterbrechung mit parallelen Rändern an der Peripherie darbieten, kann man sagen, daß sie ziemlich zuverlässig die wirkliche Sehschärfe ermitteln lassen.

Da Variationen der Belichtung auf die Sehschärfe einen großen Einfluß ausüben, sollte bei der Bestimmung der Sehschärfe die Beleuchtung eigentlich immer die gleiche sein — was indessen nur bei künstlicher Beleuchtung möglich ist, denn die Tagesbeleuchtung variiert selbst zur Mittagszeit an verschiedenen Tagen sehr erheblich.

Um den Einfluß der Variationen der Lichtstärke nachzuweisen, kann man bei der durchlöcherten Scheibe verschieden starke Glühlampen anwenden, bzw. einen variablen Widerstand in die Strombahn einsetzen: je geringer die Lichtstärke ist, um so mehr muß man sich der Lampe nähern, um die einzelnen Punkte unterscheiden zu können. Bei der Anwendung von Probebuchstaben wirft man im sonst dunklen Zimmer von einer genügend starken Glühlampe das Licht auf die Tabelle der Sehproben und stellt vor die Lampe ein Episkotister oder Papierblätter oder Milchglasscheiben oder dergl. Auch kann man zu diesem Zwecke die Lampe in verschiedener Entfernung von der Tabelle aufstellen.

Die gewöhnlichen Tabellen zur Bestimmung der Sehschärfe enthalten immer mehrere Zeilen von Probebuchstaben oder Haken, deren Größe von oben nach unten abnimmt; für alle ist dabei angegeben, in welcher Entfernung der ganze Buchstabe unter einem Gesichtswinkel von 5 Minuten gesehen wird.

Wenn nun die Versuchsperson in der betreffenden Entfernung von *A* Meter (bei korrigierter statischer Refraktion) die entsprechende Zeile von Buchstaben nicht lesen kann, kann man die Größe ihrer Sehschärfe bestimmen entweder dadurch, daß die Versuchsperson sich soviel der Tabelle nähert, bis die betreffende Zeile unterscheidbar wird — dann ist die Sehschärfe gleich dieser Entfernung durch die Zahl *A* dividiert —, oder auch man faßt als Maß der Sehschärfe diejenige Zeile auf, welche bei unverändertem Abstande von der Tabelle eben noch gelesen werden kann. Wenn die Bestimmung also bei einer Entfernung von 5 m stattfindet und dabei nur die Buchstaben, welche bei 10 m Entfernung unter einem Gesichtswinkel von 5 Minuten gesehen werden, gelesen werden können, ist die Sehschärfe 5/10.

Also wird bei dieser Methode die Sehschärfe im allgemeinen durch einen Bruch ausgedrückt, wo der Zähler die Entfernung angibt, in welcher die betreffende Zeile vom Auge deutlich erkannt wurde, und der Nenner die Entfernung bedeutet, in welcher die Figuren der betreffenden Zeile unter einem Gesichtswinkel von 5 Minuten gesehen werden.

E. Die statische Refraktion des Auges.

Bei einem akkommodationslosen Auge kann man von vornherein drei verschiedene Arten statischer Refraktion unterscheiden, je nachdem parallele Strahlen zu der Netzhaut, vor der Netzhaut oder hinter der Netzhaut zusammengebrochen werden.

Die Augen, welche parallele Strahlen zu einem Punkt auf der Netzhaut vereinigen, heißen emmetropische Augen.

Die Augen, welche parallele Strahlen zu einem Punkt vor der Netzhaut zusammenbrechen, heißen myopische Augen.

Die Augen, welche parallele Strahlen zu einem Punkt hinter der Netzhaut zusammenbrechen, heißen hypermetropische Augen.

Die myopischen und die hypermetropischen Augen können durch vorgesetzte sphärische Linsen das Vermögen erlangen, parallele Strahlen auf der Netzhaut zu vereinigen; das System Auge + Korrektionslinse stellt dann ein emmetropisches Auge dar.

Es ist ohne weiteres klar, daß ein myopisches Auge im Verhältnis zu seinem Bau das Licht zu stark bricht, und daß das hypermetropische im Verhältnis zu seinem Bau das Licht zu schwach bricht.

Das myopische Auge wird also durch eine Zerstreuungslinse, das hypermetropische durch eine Sammellinse korrigiert werden.

Um zu entscheiden, inwiefern ein zu untersuchendes Auge emmetropisch, hypermetropisch oder myopisch ist, haben wir in erster Linie sein Verhalten in bezug auf parallele Strahlen zu untersuchen.

Hierbei können wir annehmen, daß Strahlen, welche von 5 m Entfernung ausgehen, als parallele zu erachten sind, denn die Divergenz eines Strahlenbündels von 5 m Länge und einer Basis, gleich dem Querschnitt der Pupille, kann hier ohne Bedenken vernachlässigt werden.

Das Probeobjekt kann also in 5 m Entfernung aufgestellt werden.

Als Probeobjekt wählt man im allgemeinen die soeben erwähnten Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe, und die Versuchsperson soll versuchen, sie zu lesen. Dabei genügt es nicht, wenn sie die obersten großen Buchstaben liest, sie muß vielmehr auch diejenigen Buchstaben entziffern können, welche der vollen Sehschärfe bei 5 m Entfernung entsprechen.

Es ist nun allerdings wahr, daß die von jedem Punkt der Tabelle ausgehenden Strahlen untereinander als parallel zu betrachten sind, und es könnte dann gleichgültig sein, welche Zeile gelesen wird. Dies ist aber nicht der Fall, denn je größer ein Objekt, und je größer bei einer gewissen Entfernung also auch sein Bild auf der Netzhaut ist, um so mehr kann letzteres verschwommen sein, ohne daß es der Versuchsperson unmöglich wird, das Objekt zu erkennen, denn aus dem undeutlichen Bilde lassen sich doch die gröberen Einzelheiten, durch welche das Objekt charakterisiert ist, herausfinden.

Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur mittels einer Linse das Bild einer Glühlampe auf einen Schirm zu entwerfen. Lange bevor noch das Bild so scharf ist, wie es überhaupt werden kann, erkennt man schon den Glühfaden.

Übrigens kann man sich auch durch die Tabelle für die Bestimmung der Sehschärfe davon vergewissern. Nachdem man die statische Refraktion seines Auges bestimmt und korrigiert hat, macht man das korrigierte Auge durch vorgesetzte Linsen hypermetropisch oder myopisch: nun kann man allerdings nicht mehr die unteren Zeilen der Tabelle lesen, die großen Buchstaben sind aber, obgleich mehr oder weniger verschwommen, dennoch erkenntlich.

Damit der Untersucher wisse, daß das Bild auf der Netzhaut der Versuchsperson so scharf ist, wie es überhaupt werden kann, muß also die Sehschärfe auf das äußerste ausgenutzt werden, d. h. man darf erst bei der Zeile stehen bleiben, deren Entfernung der normalen Sehschärfe entspricht. Bei Krankheiten des Auges, wo eine normale Sehschärfe nicht vorhanden ist, muß man sich natürlich mit einer der höheren Zeilen der Tabelle begnügen.

Wenn parallele Strahlen durch eine Sammellinse hindurchgehen, werden sie konvergent. Nun besitzt aber das hypermetropische Auge allein das Vermögen, konvergente Strahlen zu vereinigen, denn sowohl beim emmetropischen wie beim myopischen Auge werden diese Strahlen vor der Netzhaut zusammengebrochen.

Um die verschiedenen Arten der statischen Refraktion zu unterscheiden, hat man daher, nachdem die Versuchsperson, wie oben beschrieben, in 5 m Entfernung von der gut beleuchteten Tabelle plaziert ist, zuerst eine *schwache* Sammellinse vor das Auge zu stellen. Sieht die Versuchsperson jetzt besser oder wenigstens nicht schlechter als ohne die Linse, so besitzt sie das Vermögen, konvergente Strahlen auf der Netzhaut zu vereinigen; das Auge ist hypermetropisch.

In diesem Falle prüft man nun der Reihe nach, von der allerschwächsten im Brillenkasten vorhandenen Linse ohne jede Unterbrechung zu den stärkeren übergehend, die Einwirkung der konvexen Linsen auf das Sehvermögen. Bei einer gewissen Linse gibt die Versuchsperson an, daß sie nicht mehr so gut wie vorher sieht. Die nächst vorhergehende Linse hat also das Vermögen, parallelen Strahlen einen solchen Grad von Konvergenz zu erteilen, daß sie von dem akkommodationslosen hypermetropischen Auge nach der Netzhaut zusammengebrochen werden.

Ein hypermetropisches Auge kann ohne Akkommodation kein deutliches Bild von irgendwelchem nahe oder fern belegenen Gegenstand erhalten. Infolgedessen gewöhnt sich der Hypermetrop daran, beim Fixieren eines Objektes immer zu akkommodieren, und bei normaler Sehschärfe und nicht gar zu starker Hypermetropie kann er dabei die 5 Meter-Zeile an der Tafel unschwer lesen. Beim Vorhalten einer Sammellinse erschlafft zum

Teil die Akkommodation, und zwar um so mehr, je stärker diese Linse ist. Bei einer gewissen Stärke der Linse wird dies ihm aber nicht mehr möglich: er akkommodiert unwillkürlich in einem gewissen Umfange, und die soeben dargestellte Prüfung kann also nicht die ganze, sondern nur die manifeste Hypermetropie entdecken.

Der Rest der Hypermetropie, die latente Hypermetropie, kann durch Erlahmung der Akkommodation durch Atropin, bzw. bei der objektiven Bestimmung der statischen Refraktion mittels des Augenspiegels nachgewiesen werden. Zweckmäßig korrigiert man indessen nur die manifeste Hypermetropie. Allmählich lernt es der Hypermetrop unter Anwendung seiner Brille, auch beim Fixieren die Akkommodation immer mehr zu entspannen, und dann werden stärkere Gläser allmählich nötig.

Wenn die Versuchsperson mit einer schwachen konvexen Linse schlechter sieht, ist sie entweder Myop oder Emmetrop. Im ersten Falle verbessert sich das Sehen bei Anwendung einer konkaven Linse. Dabei fängt man wie immer mit der schwächsten Linse an und steigt allmählich höher. Man bleibt bei der schwächsten konkaven Linse stehen, mit welcher die Versuchsperson — normale Sehschärfe vorausgesetzt — die entsprechende Zeile der Tabelle lesen kann.

Wird das Sehvermögen weder durch eine konvexe noch konkave Linse verbessert, und vermag die Versuchsperson in 5 m Entfernung die Buchstaben der Tabelle zu lesen, ist das untersuchte Auge emmetropisch.

Als Fernpunkt des Auges bezeichnet man den Punkt, von woher Strahlen mit der geringsten von den lichtbrechenden Medien des Auges noch zu bewältigenden Konvergenz ausgehen. Dieser Punkt liegt beim emmetropischen Auge in unendlicher Entfernung und fällt bei dem myopischen und dem hypermetropischen Auge mit dem Brennpunkt der Korrektionslinse zusammen.

Da indessen die Linse nicht dicht vor das Auge gehalten werden kann, ist es bei genauer Feststellung der Lage des Fernpunktes nötig, auch den Abstand zwischen Linse und Auge (eigentlich dem ersten Hauptpunkt des Auges), zu berücksichtigen. Die wirkliche Entfernung des Fernpunktes ist also gleich der Brennweite der Korrektionslinse $\pm$ dem Abstand zwischen Linse und vorderem Hauptpunkt des Auges.

Da die in Meter ausgedrückte Brennweite einer Linse gleich der reziproken Zahl ihrer in Dioptrien ausgedrückten brechenden Kraft ist, ist der Fernpunktabstand beim myopischen Auge gleich

$$\frac{1}{D} + x,$$

beim hypermetropischen Auge gleich

$$\frac{1}{D} - x,$$

wo x den Abstand zwischen Linse und Auge bezeichnet.

Der Grad der Hypermetropie und der Myopie wird durch eine Linse von der genannten Brennweite ausgedrückt und stellt also seinerseits die reziproke Zahl des Fernpunktabstandes dar. Er ist für das myopische Auge

$$\frac{D}{1 + Dx}$$

und für das hypermetropische Auge

$$\frac{D}{1 - Dx}.$$

Wenn daher ein myopisches Auge durch eine in 0.015 m aufgestellte Linse von 3 D korrigiert wird, liegt sein Fernpunkt $^1/_3 + 0.015$ m $= 0.348$ m vor dem Auge, und seine statische Refraktion ist 2.87 D. — Bei einem hypermetropischen Auge, das durch eine in 0.015 m aufgestellte Linse von 3 D korrigiert wird, liegt der Fernpunkt $^1/_3 - 0.015$ m $= 0.318$ m hinter dem Auge, und die statische Refraktion dieses Auges ist 3.14 D.

Es ist sehr lehrreich, wenn man sich dadurch, daß man vor das Auge in einem Brillengestell Sammel- oder Zerstreuungslinsen aufstellt, künstlich zum Myopen bzw. Hypermetropen macht, und dann durch neue Linsen die solcherart dargestellte Ametropie korrigiert, denn dadurch erwirbt man sich eine nähere Kenntnis der Art und Weise, wie sich die Gesichtseindrücke bei der allmählich stattfindenden Korrigierung der statischen Refraktion verändern.

Auch am Augenmodell von Kühne (s. oben S. 319) kann man die verschiedenen Arten der statischen Refraktion und die Korrektion derselben demonstrieren. Man stellt die Lampe auf 5 m Abstand und macht das „Auge" durch zweckmäßige Plazierung der „Linse" und des Schirmes emmetropisch. Nun braucht man nur den Schirm etwas nach hinten zu schieben, um das Auge myopisch zu machen, denn dann werden ja die parallelen Strahlen vor dem Schirm zusammengebrochen. Schiebt man den Schirm dagegen nach vorne, so hat man den Strahlengang im hypermetropischen Auge, wo sich die Strahlen hinter der Netzhaut vereinigen. Durch Linsen, welche vor das „Auge" gehalten werden, kann die Ametropie in beiden Fällen korrigiert und das Bild auf den Schirm wieder aufgefangen werden.

F. Der Astigmatismus.

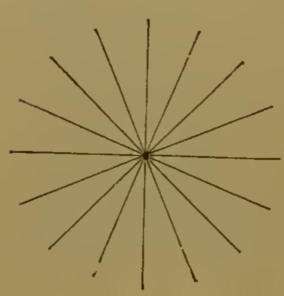
Um den Astigmatismus nachzuweisen, bedient man sich einer aus mehreren Meridianen zusammengesetzten Figur (Fig. 278) und stellt die Versuchsperson so weit davon, daß sie nur noch einen der Meridiane deutlich sehen kann. Dieser Meridian entspricht seiner Richtung nach dem am stärksten lichtbrechenden Meridian im Auge, und sein auf die Netzhaut entworfenes Bild der zweiten Brennlinie. Nähert man sich soviel wie mög-

lich der Figur, so bleibt wieder nur ein Meridian deutlich. Bei regelmäßigem Astigmatismus ist dieser gegen den ersteren senkrecht: er gibt die Richtung des am schwächsten brechenden Meridians an, und sein Bild auf der Netzhaut entspricht der ersten Brennlinie.

Diese Erscheinungen können subjektiv wahrgenommen werden, wenn man sein Auge künstlich astigmatisch macht, indem man vor dasselbe eine zylindrische Linse von etwa 1—3 D stellt.

Die brechenden Flächen der zylindrischen Linsen sind keine Kugelflächen, wie bei den gewöhnlichen Linsen, sondern zylindrische Flächen mit größerem oder kleinerem Radius. In solchen Linsen gehen die in die Richtung der Achse fallenden Strahlen ungebrochen durch; in allen anderen Meridianen ist die Linse gekrümmt, und das Licht wird um so stärker gebrochen, je kleiner der Radius ist. Die stärkste Brechung findet in dem gegen die Achse senkrechten Meridian statt.

Nachdem man in der soeben erwähnten einfachen Weise die Lage der Hauptmeridiane im astigmatischen Auge bestimmt hat, erübrigt es noch, die statische Refraktion in diesen zu bestimmen, denn es ist deutlich, daß, wenn dies getan ist, der Astigmatismus durch zylindrische Gläser korrigiert werden kann.



Figur 278. Zur Untersuchung des Astigmatismus.

Zu diesem Zwecke setzt man in einem mit Kreisteilung versehenen Brillengestell eine schwarze Blechscheibe mit schmalem Spalt, einmal so, daß der Spalt mit der Richtung des einen, das anderemal so, daß er mit der Richtung des anderen Hauptmeridians zusammenfällt, und bestimmt nun, mittels der gewöhnlichen sphärischen Gläser, die statische Refraktion in den beiden Hauptmeridianen. Dann kennt man den Unterschied der Lichtbrechung in diesen und kann ihn mittels einer Zylinderlinse korrigieren.

Angenommen, daß die Refraktion in dem einen Meridian (A) sei Myopie von 2 Dioptrien, in dem anderen (B) Emmetropie. Dann nimmt man eine Zylinderlinse von — 2 D und stellt sie mit der Achse in den Meridian B. — Desgleichen, wenn die Refraktion in A — 4 D und in B — 2 D ist. Dann bringt eine konkave Zylinderlinse von 2 Dioptrien, wenn sie mit der Achse in den Meridian B gestellt wird, das ganze Auge in allen Meridianen auf — 2 D. Es ist nun einfach myopisch, und diese rückständige Myopie wird in gewöhnlicher Weise durch eine konkave sphärische Linse von 2 D korrigiert.

Endlich kann es auch vorkommen, daß der eine Hauptmeridian myopisch, der andere hypermetropisch ist, z. B. $A = -2\,D$ und $B = +2\,D$. Dann gilt es, wiederum das ganze Auge auf denselben Refraktionszustand zu bringen. Die Differenz in der Lichtbrechung beträgt im hier gedachten Falle 4 Dioptrien. Mit einer konkaven Zylinderlinse von 4 Dioptrien mit der Achse in dem Meridian B, wird das ganze Auge hypermetropisch von 2 Dioptrien, und diese Hypermetropie dann in gewöhnlicher Weise mit einer konvexen

sphärischen Linse korrigiert. Oder kann man durch eine konvexe Zylinderlinse von 4 Dioptrien mit der Achse im Meridian *A* das ganze Auge zu einem myopischen von 2 Dioptrien machen, und die zurückgebliebene Myopie mittels einer konkaven sphärischen Linse von 2 D korrigieren.

Die allgemeine Regel für die Korrektion des Astigmatismus ist also, daß man durch eine zylindrische Linse das ganze Auge in einen und denselben Refraktionszustand bringt und dann die etwa noch zurückgebliebene Anomalie durch eine sphärische Linse ausgleicht.

Um den Gang der Lichtstrahlen in einem astigmatischen System objektiv zu demonstrieren, setzt man aus einer sphärischen und einer zylindrischen Linse ein System zusammen. In etwa $1^1/_2$—2 m Entfernung von der benutzten Lichtquelle stellt man erst die sphärische Linse von etwa 8 D Brennweite auf und fängt das durch sie entworfene punktförmige Bild auf den Schirm auf. Dann stellt man unmittelbar gegen diese Linse die zylindrische Linse + 2 D. Man sieht, wie das Bild der Lichtquelle nicht mehr punktförmig bleibt, sondern in der Richtung senkrecht gegen die Zylinderachse ausgezogen wird; wir haben hier die zweite Brennlinie. Wenn wir den Schirm nach hinten verschieben, wird das Bild immer in derselben Richtung ausgezogen, aber gleichzeitig immer weniger scharf. Wird der Schirm dagegen gegen die Linsenkombination hin verschoben, so verkürzt sich das Bild; in einer gewissen Entfernung stellt es einen Kreis dar, und bei noch weiterer Annäherung bildet es wieder eine Linie, die erste Brennlinie, welche senkrecht gegen die zweite steht und mit der Zylinderachse zusammenfällt.

Man wiederholt den Versuch, benutzt aber statt der konvexen Zylinderlinse eine konkave; dann fällt die erste Brennlinie mit dem Brennpunkt der sphärischen Linse zusammen, und die zweite Brennlinie liegt weiter von der Linse entfernt.

Auch mit dem Augenmodell von Kühne läßt sich der Gang der Strahlen in dem astigmatischen Auge demonstrieren, wenn man vor die „Hornhaut" ein mit Wasser gefülltes halbzylindrisches Gefäß stellt.

Schiefeinfallende Strahlen. Das Zentrum der Zentralgrube fällt nicht mit dem Punkte zusammen, wo die Augenachse die Netzhaut trifft, sondern liegt etwas seitlich davon. Also kommt es selbst bei direktem Sehen vor, daß die Strahlen schief in das Auge fallen, und dies gilt natürlich in einem noch höheren Grade von denjenigen Strahlen, welche von mehr seitwärts im Sehfelde liegenden Objekten ausgehen.

Eine Vorstellung von der Lichtbrechung bei schiefer Inzidenz gibt folgender Versuch von Gullstrand. Man stellt eine gewöhnliche bikonvexe sphärische Linse von etwa 10—11 cm Brennweite in eine Entfernung von 2—3 m von der Lichtquelle und fängt das Bild auf einen Schirm auf. Wenn der Leitstrahl des Bündels mit der Achse der Linse zusammenfällt und die Linse also senkrecht trifft, so ist das Bild auf dem Schirm ein heller Punkt von geringem Querschnitt. Wenn die Linse jetzt so gedreht wird, daß die rechte Hälfte, vom Licht aus gesehen, sich durch Drehung

vom leuchtenden Punkt entfernt hat, so wird das gebrochene Lichtbündel astigmatisch, und man findet durch Verschiebung des Schirmes eine Stelle, in welcher der Querschnitt in transversaler Richtung schmäler als bei allen übrigen ist, und eine andere, in welcher der Querschnitt in vertikaler Richtung die kleinste Größe hat (vgl. Fig. 279). Jener Querschnitt stellt



Figur 279. Der erste (*A*) und zweite (*B*) dünnste Querschnitt bei einem infolge schiefer Inzidenz astigmatischen Strahlenbündel, nach Gullstrand.

die erste Brennlinie, dieser die zweite Brennlinie dar. Wird der Schirm bei der zweiten Brennlinie um eine vertikale Achse in entgegengesetzter Richtung gegen diejenige der Linse gedreht, so erhält man eine scharfe und deutliche Brennlinie, die gegen den Lichtstrahl schief steht.

Für ein größeres Auditorium kann man diese Figuren unter Anwendung einer kugelförmigen Glühlampe aus Mattglas und eines großen Leseglases ziemlich gut demonstrieren.

G. Durchsichtigkeit der Augenmedien.

Daß die Augenmedien selbst bei jungen Individuen nicht vollkommen durchsichtig sind, geht aus folgenden Versuchen hervor.

Wenn man mittels einer konvexen Linse von etwa 8 Dioptrien einen starken Lichtkegel schief ins Auge wirft, so wird der beleuchtete Teil der

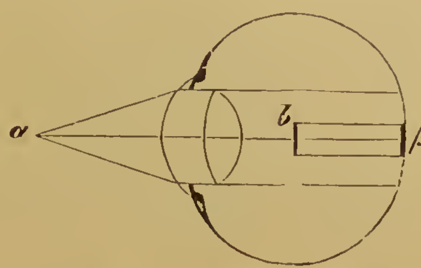


Figur 380. Anordnung zur Beobachtung der Trübungen im Glaskörper, nach Helmholtz.

Hornhaut und der Linse sofort sichtbar, d. h. diese Gebilde entsenden von jedem Punkte unregelmäßig zerstreutes Licht.

Blickt man am Tage gegen den Himmel, so bemerkt man im Sehfelde allerhand Figuren, die nichts anderes sind als der Ausdruck von Schatten, welche Trübungen im Glaskörper auf die Netzhaut werfen.

Um diese näher beobachten zu können, empfiehlt Helmholtz folgende Methode. Eine Sammellinse von großer Apertur und kleiner Brennweite *a* (Fig. 280) wird vor dem Auge aufgestellt; vor ihr in einiger Entfernung eine Lichtflamme *b*, von der die Linse in ihrem Brennpunkt ein verkleinertes Bild entwirft. Dann stellt man hier einen undurchsichtigen Schirm *c* mit kleiner Öffnung so auf, daß das Bild der Flamme auf diese Öffnung fällt. Durch die Öffnung dringt dann ein breiter Kegel divergierender Strahlen. Ein Auge *o*, welches der Öffnung sehr genährt wird, erblickt durch sie hindurch die breite, gleichmäßig erleuchtete Fläche der Linse, auf welcher sich nun in großer Deutlichkeit die entoptisch wahrzunehmenden Gegenstände darstellen.



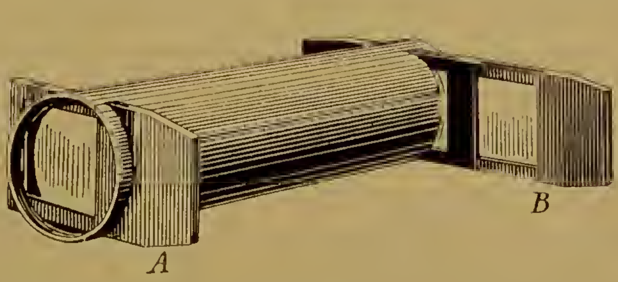
Figur 281. Trübungen im Glaskörper, nach Helmholtz.

Wenn der leuchtende Punkt im vorderen Brennpunkte des Auges liegt, werden die von demselben ausgehenden Strahlen im Glaskörper parallel, und von einem im Glaskörper befindlichen dunklen Körperchen *b* (Fig. 281) wird auf der Netzhaut ein Schatten *β* von gleicher Größe entworfen. Liegt der leuchtende Punkt näher dem Auge oder weiter von ihm, so werden die Strahlen divergent, bzw. konvergent, und das Schattenbild wird im ersten Falle größer, im zweiten kleiner als das schattenwerfende Körperchen.

H. Die Farbenzerstreuung im Auge.

Wenn man eine elektrische Glühlampe in 5 m Entfernung aufstellt und durch ein Kobaltglas auf sie blickt, so erscheint der Glühfaden je nach der Einstellung des Auges weißlichblau mit roten Rändern oder rötlich mit blauen Rändern. Unter Anwendung gewöhnlicher sphärischer Gläser läßt sich die verschiedene Einstellung unschwer erzielen und dabei auch die Größe der Farbenzerstreuung im Auge mit ziemlich befriedigender Genauigkeit ermitteln.

Noch besser gelingt dies, wenn das Kobaltglas mit einem roten oder blauen Glas kombiniert wird, indem dann nur je eine Art von Strahlen das Auge trifft (vgl. Fig. 282; im Schieber *A* ist das Kobaltglas, im Schieber *B* das rote und das blaue Glas nebeneinander eingesetzt).



Figur 282. Apparat zur Messung der Farbenzerstreuung im Auge.

Bei schwächeren Lampen von 16—25 Normalkerzen begegnet man indessen der Schwierigkeit, daß der Glühfaden im blauen Licht ziemlich lichtschwach ist. Es empfiehlt sich daher, stärkere Lampen zu benutzen, und ich habe mit einer Osramlampe von 200 Normalkerzen sehr schöne Resultate bekommen. Hier ist die Lichtstärke sowohl im roten als im

blauen Lichte völlig genügend, und die einzelnen Schlingen des Metalldrahtes bieten ein vorzügliches Testobjekt dar.

In letzterer Hinsicht leistet auch eine starke unifilare Glühlampe mit spiegelndem Hintergrund sehr guten Dienst, da sie sich unschwer so stellen läßt, daß die als Testobjekt anzuwendende Entfernung zwischen dem Glühfaden und dessen Spiegelbilde je nach dem Bedarf verändert wird.

Das von mir benutzte Kobaltglas ließ Strahlen von λ 722—677 und 495—397 hindurch; das rote Glas war für λ 730—582 und das blaue für λ 508—398 durchgängig. Also kamen bei den vorliegenden Bestimmungen nur λ 722—677 bzw. 495—397 in Betracht.

Für diese Grenzen beträgt die Farbenzerstreuung im Auge im allgemeinen 1—1.5 D.

1. Die Akkommodation.

1. Der Nahepunkt.

Die maximale Leistung der Akkomodation wird durch den Nahepunkt bestimmt, d. h. durch die Entfernung, von welcher aus die vom Auge noch zu bewältigenden Strahlen größter Divergenz ausgehen.

Die Bestimmung des Nahepunktes ist ganz einfach: man läßt die Versuchsperson eine sehr feine Schrift lesen und mißt mit einem Maßstab die geringste Entfernung, in welcher sie dies noch tun kann. Bei vorhandenem Astigmatismus soll dieser bei der Bestimmung des Nahepunktes vorher korrigiert sein. Die darnach etwa zurückgebliebene Myopie und Hypermetropie soll dagegen nicht korrigiert werden (vgl. indessen unten S. 332).

Als Probeobjekte benutzt im allgemeinen die Stilskalen von Jäger, welche einen Text mit immer größeren Buchstaben enthalten. Nummer 1 enthält die kleinsten Buchstaben, und das Vermögen sie zu lesen stellt das praktische Maß für eine beim Nahesehen normale Sehschärfe dar.

Hierbei ist indessen noch folgendes zu bemerken. Diejenigen Individuen, die eine nicht zu geringe Übung im Lesen besitzen, brauchen beim Lesen kurrenter Schrift nicht jeden Buchstaben für sich zu entziffern, sondern lesen im allgemeinen die ganzen Wörter. Unter solchen Umständen kann es der Versuchsperson möglich werden, die Schrift zu lesen, obgleich das Bild der einzelnen Buchstaben auf der Netzhaut noch lange nicht scharf ist. Man bekommt also in gewissen Fällen leicht eine zu kleine Zahl für den Nahepunktabstand. Um diesen Übelstand zu beseitigen, ist es daher nützlich, als Probeobjekte einzelne Buchstaben oder aus solchen zusammengesetzte sinnlose Wörter zu benutzen, deren Erkennung ein vollkommen deutliches Bild auf der Netzhaut erfordert.

Bei stärkeren Graden von Hypermetropie vermag das Auge durch die Akkommodation es nicht so weit zu bringen, daß eine feine Schrift genügend

nahe dem Auge gebracht werden kann, um gelesen werden zu können. Auf den wirklichen Nahepunkt des Auges gebracht, wird sie indessen unter einem zu geringen Gesichtswinkel gesehen. Insbesondere gilt dies natürlich von Augen, welche trotz maximaler Anstrengung ihrer Akkommodation es nicht soweit bringen können, daß sie parallele Strahlen zu einem Bild auf der Netzhaut zusammenbrechen.

Im letzten Falle stellt man die Versuchsperson vor der Tabelle zur Bestimmung der Sehschärfe in 5 m Entfernung und sucht nun die schwächste konvexe Linse auf, mit welcher die Versuchsperson die 5 Meter-Zeile noch lesen kann. In diesem Falle strengt das Auge seine Akkommodation im Maximum an und gewinnt also erst durch die vorgesetzte konvexe Linse das Vermögen, parallele Strahlen auf die Netzhaut zu vereinigen.

Der Nahepunkt des Auges liegt hier hinter dem Auge und fällt mit dem Brennpunkt der benutzten Linse zusammen.

Diese Form der Hypermetropie heißt absolute Hypermetropie im Gegensatz zu der fakultativen Hypermetropie, bei welcher das Auge durch die Akkommodation für divergente Strahlen eingestellt werden kann.

Wenn bei hochgradiger fakultativer Hypermetropie der Nahepunktabstand zu groß ist, um ohne weiteres das Lesen einer feinen Schrift zu gestatten, sowie bei anderen Refraktionszuständen, wenn das Akkommodationsvermögen wegen der Altersveränderungen der Linse abgenommen hat (Presbyopie), kann man durch folgenden Kunstgriff die wahre Lage des Nahepunktes bestimmen.

Man stellt vor das Auge eine schwache konvexe Linse von der Brennweite a Meter und bestimmt nun die Entfernung p' Meter, in welcher die Versuchsperson die feine Schrift lesen kann. Dann ist die Lage des Bildes, d. h. des Nahepunktes, p Meter, aus folgender Gleichung zu berechnen:

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{p};$$

$$p = \frac{p'}{1 - p'/a}.$$

Wenn $p' = 0.15$ m und $a = 0.25$ m ($= 4\,D$), ist also $p = 0.375$ m.

2. Die Akkommodationsbreite.

Aus dem Fernpunkts- und dem Nahepunktsabstand kann man die Akkommodationsbreite, d. h. die Stärke derjenigen Linse, welche den von dem Nahepunkt kommenden Strahlen eine solche Richtung gibt, als kämen sie von dem Fernpunkt, berechnen.

Um dies zu tun, hat man nur die betreffenden Zahlen mit den richtigen Zeichen in die gewöhnliche Linsenformel einzusetzen:

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2},$$

wo F die Brennweite (A) der Akkommodationsbreite, f_1 die Entfernung des Nahepunktes (P) und f_2 die des Fernpunktes (R) bezeichnen, also

$$\frac{1}{A}=\frac{1}{P}+\frac{1}{R}.$$

Für das emmetropische Auge wird diese Formel

$$\frac{1}{A}=\frac{1}{P},$$

für das myopische

$$\frac{1}{A}=\frac{1}{P}-\frac{1}{R},$$

für das fakultativ hypermetropische

$$\frac{1}{A}=\frac{1}{P}+\frac{1}{R}$$

und für das absolut hypermetropische

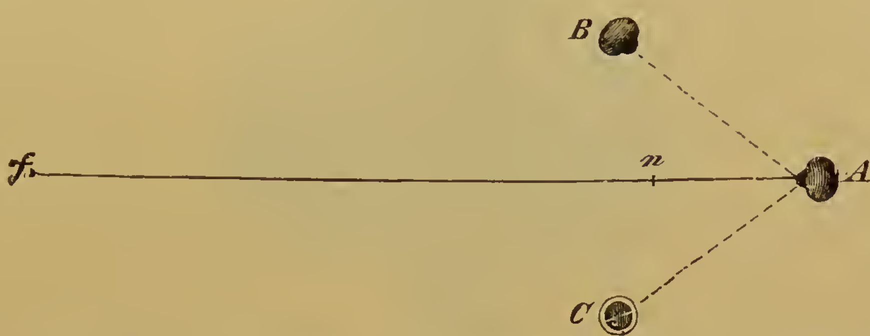
$$\frac{1}{A}=-\frac{1}{P}+\frac{1}{R}.$$

Die Akkommodationsbreite eines und desselben Auges ist natürlich ganz unabhängig davon, ob eine vorhandene Anomalie der Refraktion korrigiert ist oder nicht. Wenn man also an einem und demselben Auge den Nahepunkt und den Fernpunkt bestimmt: 1. bei nicht korrigierter Anomalie und 2. bei korrigierter Anomalie, in welchem letzteren Falle der Fernpunkt in unendlicher Ferne liegt, und dann die Akkommodationsbreite berechnet, so muß man in beiden Fällen etwa dieselbe Zahl erhalten. Genau die gleiche Zahl wird man wohl nur selten bekommen, da die Bestimmung des Nahepunktabstandes nach der hier angegebenen Methode keine Ansprüche auf größere Exaktheit erheben kann.

An dem Augenmodell von Kühne läßt sich auch die Akkommodationsbreite unschwer demonstrieren. Man fängt zuerst das Bild der entfernten Flamme auf den Schirm und nähert dann die Flamme bis zu einer Entfernung von 0.5—0.25 dem Modell. Das Bild fällt jetzt weit hinter den Schirm. Durch eine dicht vor das Modell gehaltene konvexe Linse genügender Stärke wird es aber wieder auf den Schirm gebracht. Diese Linse stellt die Akkommodationsbreite dar.

3. Die Veränderungen der Linse bei der Akkommodation.

Um die Zunahme des Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche naehzuweisen, hat Helmholtz folgende Anordnung angegeben. Man gibt in einem sonst dunklen Zimmer dem beobaehteten Auge zwei seharf bestimmte, in einer Linie vor ihm liegende Fixationspunkte *f* und *n* (Fig. 283). Von einer großen und hellen Lampenflamme *C*, die seitwärts von der Gesiehtslinie in gleicher Höhe mit dem Auge aufgestellt wird, wird Lieht gegen das Auge *A*

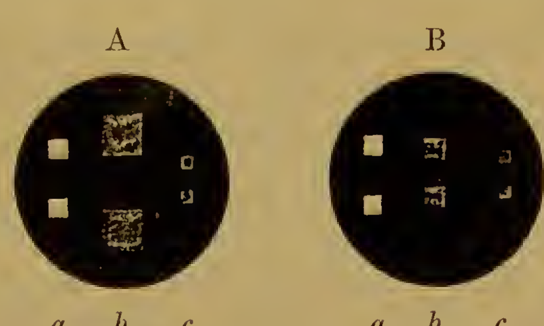


Figur 283. Schema zur Untersuchung des Akkommodationsmechanismus, nach Helmholtz.

geworfen. Der Beobaehter muß sein Auge *B* in gleieher Höhe mit dem beobaehteten halten, so daß der Winkel *BAf* ungefähr gleich *CAf* ist, und so lange sein Auge in der Nähe von *B* hin und her bewegen, bis er die Reflexe *b* und *c* an beiden Linsenfläehen sieht (Fig. 284). Diese sind sehr viel lichtsehwäeher als der Reflex der Hornhaut *a*. Der Reflex von der vorderen Linsenfläehe *b* bildet ein aufreehtstehendes Bildchen der Flamme, etwas



Figur 284.



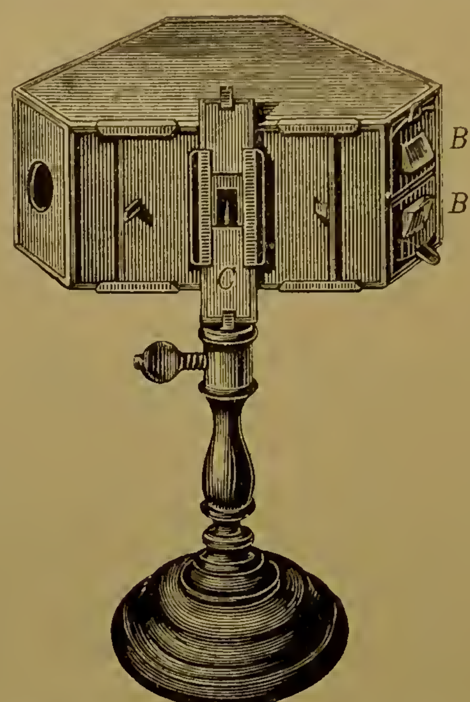
Figur 285.

Figur 284. Reflexbilder in den Augenmedien, nach Helmholtz. — Figur 285. Spiegelbilder der Hornhaut (*a*), der vorderen (*b*) und der hinteren (*c*) Linsenfläche bei Einstellung für die Ferne (*A*) und für die Nähe (*B*), nach Helmholtz.

größer als das von der Hornhaut entworfene, ist aber meist so verwasehen, daß man die Gestalt der Flamme nieht genau erkennen kann. Sein seheinbarer Ort ist 8—12 mm hinter der Pupille. Er versehwindet daher aueh sehon bei leiehten Bewegungen des beobaehtenden Auges oder des Liehtes hinter dem Irisrande. Das von der hinteren Linsenfläche entworfene Bild ist umgekehrt und viel kleiner als das Hornhautbild und das Bild der ersten Linsenfläehe und erscheint als ein helles, ziemlich gut begrenztes Pünktehen nahe hinter der Fläche der Pupille, etwa 1 mm von ihr entfernt.

Wenn das beobachtete Auge sich für die Nähe akkommodiert, wird das erste Linsenbild beträchtlich kleiner und nähert sich in der Regel auch der Mitte der Pupille.

Die Verkleinerung des Bildes bemerkt man am besten, wenn man statt einer Flamme einen Schirm mit zwei übereinander stehenden Öffnungen benutzt, durch deren jede eine Flamme ihr Licht wirft, so daß die Spiegelbilder in den Augenmedien aus drei Paaren bestehen (vgl. Fig. 285).



Figur 286. Phakoskop, nach Helmholtz.

Um diesen Versuch zu erleichtern, hat Helmholtz den in Figur 286 abgebildeten Apparat (Phakoskop) konstruiert. In dem kleinen Pappkästchen wird das beobachtete Auge an ein in der kurzen Wand befindliches Loch gehalten; die Nadel bei *C* stellt die Fixationsmarke für die Nähe dar. Das Auge des Untersuchers blickt von links in die Kammer hinein, und das Licht einer Flamme wird durch die beiden Prismen *B* und *B'* als zwei Bilder auf die Augenmedien entworfen.

4. Akkommodation und Pupille.

Bei der Akkommodation verengt sich die Pupille, was dadurch beobachtet werden kann, daß man in das Auge der Versuchsperson blickt und sie einmal nach einem entfernten, dann nach einem nahe liegenden Objekt blicken läßt.

5. Akkommodation und Konvergenz.

Bei der Akkommodation tritt außerdem noch eine Kontraktion der Mm. recti interni, d. h. eine Konvergenzstellung der Augen auf, und zu jedem Grad von Akkommodation gehört eine bestimmte Konvergenz.

Diese Beziehung zwischen Akkommodation und Konvergenz läßt sich indessen ohne Schwierigkeit lösen. Man nehme einen Meterstab und bringe an ihn einen Läufer mit senkrecht stehender Fixationsmarke und stelle diesen auf ein Stativ in horizontaler Stellung. Das Auge soll emmetropisch oder durch Korrektionsgläser künstlich emmetropisch sein. Man stelle nun den Läufer auf z. B. 30 cm Abstand vom Auge und fixiere ihn mit den beiden Augen, welche also für diese Entfernung akkommodieren und auf diese konvergieren müssen.

Setzt man nun vor die Augen je eine Konvexlinse von 2.5 Dioptrien, so müssen diese, um noch für die Entfernung von 30 cm eingestellt zu sein, ihre Akkommodation in entsprechendem Grade erschlaffen; die Augen sind jetzt für eine Entfernung von 120 cm eingestellt, die Konvergenz findet aber immer noch für die Entfernung von 30 cm statt.

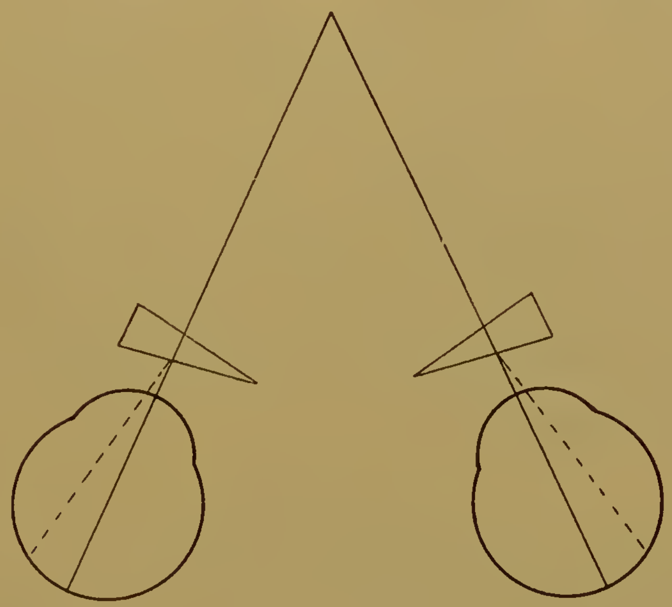
Bringt man dagegen statt der konvexen Linse eine konkave von 4 Dioptrien vor die Augen, so erscheint das Bild fortwährend einfach, die Akkommodation findet aber jetzt für eine Entfernung von $13\,^7/_{11}$ cm statt.

Man macht den Versuch so, daß man bei einem gegebenen Abstand der Fixationsmarke die stärkste konvexe und die stärkste konkave Linse aufsucht, bei welchen noch kein Doppelsehen auftritt. Diese Linsen geben die Grenzen für die Veränderung der Akkommodation bei festgehaltener Konvergenz ab (relative Akkommodationsbreite).

Um den Punkt zu finden, für welchen die Augen hier akkommodieren, braucht man nur in die gewöhnliche Linsenformel

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

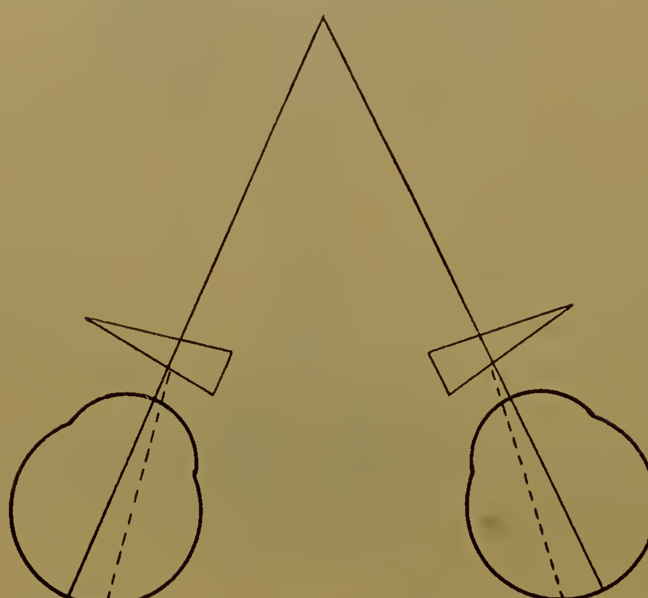
die entsprechenden Werte mit den richtigen Vorzeichen einzuführen. Hier ist F die Brennweite der benutzten Linse, f_1 die Entfernung der Fixationsmarke und f_2 die Entfernung, auf welche die Augen akkommodieren.



Figur 287. Wirkung von Prismen mit den Basen nach außen.

Man kann auch den umgekehrten Versuch machen. Man stellt die beiden Augen auf die Fixationsmarke ein und bringt in einem Brillengestell vor jedes Auge ein Prisma mit der Basis nach außen (Fig. 287). Das Prisma lenkt die Lichtstrahlen nach auswärts, und es würden also Doppelbilder der Marke entstehen; dies ist indessen nicht der Fall, denn die Augen werden in entsprechendem Grade nach einwärts gedreht; sie konvergieren also jetzt auf einen Punkt, der näher dem Auge liegt als der Punkt, für welchen die Akkommodation stattfindet.

Wenn die Prismen in umgekehrte Richtung, mit der Basis nach innen, gestellt werden, zwingt man die Augen zu einer schwächeren Konvergenz, als dies der Akkommodation entspricht (Fig. 288). Man sucht, soweit es



Figur 288. Wirkung von Prismen mit den Basen nach innen.

durch die im Brillenkasten vorhandenen Prismen gestattet ist, die Grenzwerte hier zu bestimmen.

Um den Konvergenzpunkt dann zu finden, macht man folgende Konstruktion. Man zeichnet auf Papier in natürlicher Größe die Entfernung zwischen den Mittelpunkten der Augenpupillen als Basallinie, errichtet auf der Mitte dieser Linie eine senkrechte Linse von derselben Höhe wie die Entfernung der Fixationsmarke von den Augen und verbindet dessen höchsten Punkt mit den Enden der Basallinie. Nun weiß man, um wieviel Grade eines Kreisbogens der Lichtstrahl von dem Prisma abgelenkt wird; unter Anwendung einer Gradscheibe zeichnet man diese Abweichung in das Schema hinein und verlängert die dieser Abweichung entsprechenden Linien, bis sie sich schneiden. Der Schnittpunkt stellt den Punkt dar, auf welchen die Augen jetzt konvergieren.

K. Die Regenbogenhaut.

Die Bewegungen der Regenbogenhaut werden teils vom Oculomotorius, teils vom Halssympathicus beeinflußt.

Bei der Reizung des Halssympathicus erweitert sich die Pupille des gleichseitigen Auges. Um dies nachzuweisen, braucht man nur an einem Kaninchen den Halssympathicus zu präparieren und dessen Kopfende zu reizen (vgl. oben S. 155). Man kehrt dabei den Kopf des Tieres so, daß man die Regenbogenhaut gut sehen kann; eine starke Beleuchtung schadet hier nicht, da sie an und für sich eine Kontraktion der Pupille bewirkt und also das Resultat bei der Reizung des Sympathicus um so deutlicher hervortreten läßt.

Eine lokale Erweiterung der Pupille, d. h. eine lokale Kontraktion der radiären Irisfasern wird erzielt, wenn man an einer Katze die Sclera ganz nahe dem Hornhautrande mit Induktionsströmen reizt; dabei werden zwei sehr nahe aneinander stehende Platindrähte als Elektroden benutzt (Langley). Auch beim Kaninchen gelingt dieser Versuch, er ist hier aber, wegen der runden Form der Kaninchenpupille, lange nicht so schön, wie bei der Katze mit ihrer spaltförmigen Pupille.

L. Der Augenspiegel.

Das in das Auge einfallende Licht wird zum größten Teil von dem schwarzen Pigment der Netzhaut und der Aderhaut absorbiert, zum Teil aber vom Augengrund diffus reflektiert und kehrt durch die Pupille nach außen zurück.

Wenn das Auge für einen leuchtenden Körper genau akkommodiert ist, werden die von dem Augengrunde reflektierten Strahlen, wenn sie das Auge verlassen, genau in diesem Punkte wieder vereinigt, denn wenn ein leuchtender Punkt an den Ort des Bildes gebracht wird, so wird nun das Bild an dem Orte des leuchtenden Punktes entworfen.

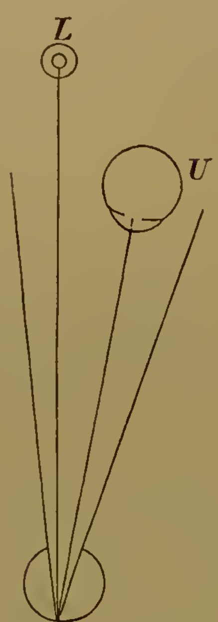
Hierin liegt die Erklärung, woher es kommt, daß die Pupille gewöhnlich schwarz erscheint: um das vom beobachteten Auge austretende Licht aufzufangen, muß das Auge des Beobachters sich zwischen den leuchtenden Körper und das beleuchtete Auge einschieben — wodurch natürlich das Licht von dem Auge abgeschnitten wird.

Bei den Albinos, Individuen, bei welchen das Augenpigment fehlt, ist die Pupille nicht schwarz, sondern rot, d. h. die von dem Auge kommenden Strahlen können in das Auge des Beobachters eindringen. Dies ist dadurch bedingt, daß, wegen des Mangels an Pigment, Licht von allen Seiten und nicht nur durch die Pupille in das beobachtete Auge kommt.

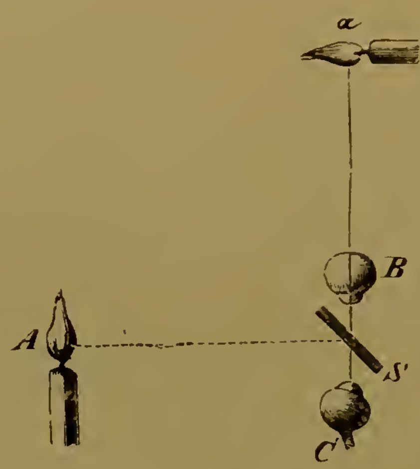
Ist das beobachtete Auge nicht für den leuchtenden Punkt eingestellt, so ist es möglich, daß das von ihm ausgehende Licht zum Teil in das Auge des Beobachters fällt, und in diesem Falle erscheint die Pupille leuchtend, z. B. wenn die Strahlen aus dem Auge divergent ausgehen, wie dies bei dem akkommodationslosen hypermetropischen Auge der Fall ist (vgl. Fig. 289, wo L die Lichtquelle und U das Auge des Beobachters bezeichnet).

Am leichtesten läßt sich das Leuchten der Pupille beobachten, wenn man mittels eines kleinen, im Zentrum durchbohrten Spiegels Licht von einer seitwärts stehenden Flamme in das zu beobachtende Auge wirft. Es sei (Fig. 290) *C* das beobachtete Auge, *B* das Auge des Untersuchers, *S* der Spiegel und *A* das Licht. Durch den Spiegel wird Licht in das Auge *C* geworfen; das von der Netzhaut zurückkehrende Licht geht nun, wenn es das Auge verlassen hat, in der Richtung des Spiegelbildes *a* zurück und dringt durch die zentrale Öffnung des Spiegels zu dem Auge des Untersuchers hin.

Mittels dieser Anordnung kann man nicht allein das Leuchten der Pupille beobachten, sondern auch, was viel wichtiger ist, ein deutliches Bild vom Augengrunde bekommen, wie dies zuerst von Helmholtz nachgewiesen wurde. Das hierzu benutzte Instrument benannte er Augenspiegel (Ophthalmoskop).



Figur 289.



Figur 290.

Figur 289. Schema zum Augenleuchten, nach Bjerrum. — Figur 290. Schema zum Augenspiegel, nach Helmholtz.

Methodisch läßt sich der Augenspiegel in zwei verschiedenen Weisen benutzen, nämlich 1. in aufrechtem, virtuellem Bilde und 2. in umgekehrtem, reellem Bilde. Ich werde nur die zweite Art vom Augenspiegel hier berücksichtigen.

Beim Augenspiegeln ist das beobachtete Auge in der Regel akkommodationslos. Die vom Augengrunde reflektierten Strahlen treten also bei dem emmetropischen Auge parallel aus, bei dem myopischen konvergieren sie gegen den Fernpunkt und bei dem hypermetropischen Auge sind sie divergent.

Um die Strahlen in jedem Falle zu einem dem beobachtenden Auge naheliegenden Bild zu vereinigen, hält man in einer Entfernung von einigen Zentimetern vor das untersuchte Auge eine konvexe Linse von etwa 10 D. Diese Linse sammelt die aus diesem Auge heraustretenden Strahlen und vereinigt sie zu einem umgekehrten reellen Bild, das beim emmetropischen Auge im Brennpunkt der Linse, bei dem myopischen näher der Linse und

bei dem hypermetropischen weiter von ihr liegt. Sobald der Untersucher durch den Spiegel die Pupille leuchtend sieht, verschiebt er seinen Kopf hin und zurück, bis das Bild des Augengrundes etwa mit dem Nahepunkt seines Auges zusammenfällt.

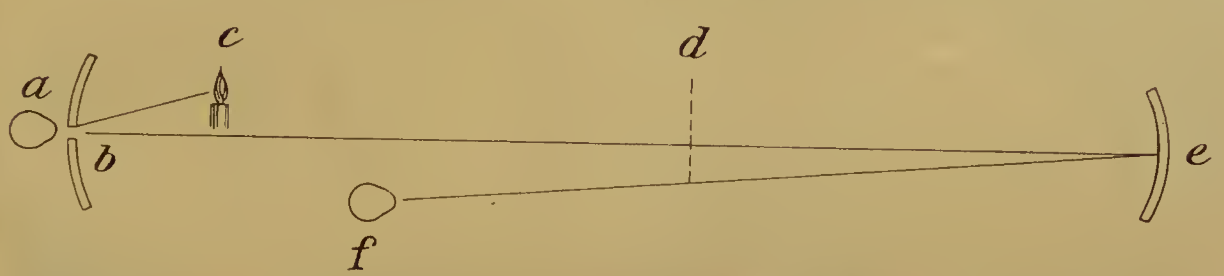
Die lästigen Reflexe vom Spiegel in der Hornhaut werden durch zweckmäßiges Drehen des Spiegels möglichst aufgehoben.

Das Gesichtsfeld ist hier von der Pupille ganz unabhängig und wird nur von der Öffnung der Linse bestimmt. Wenn nämlich die Linse in solcher Entfernung vor das Auge gehalten wird, daß die Pupille in die Nähe des Brennpunktes derselben kommt, verschwindet der Pupillenrand ganz aus dem Gesichtsfelde, und die Ausdehnung des letzteren wird nur noch von der Öffnung der Linse bestimmt.

Bei gleicher Öffnung ist das Gesichtsfeld um so größer, je kürzer die Brennweite der Linse ist.

Als Lichtquelle ist eine Glühlampe mit matter Birne sehr zweckmäßig.

Der Teil des Augengrundes, der bei jeder Augenspiegeluntersuchung in erster Linie wahrgenommen wird, ist die Papille, d. h. der für das Licht



Figur 291. Anordnung zur Demonstration des Augenspiegelbildes beim Kaninchen, nach af Schultén.

unempfindliche blinde Fleck, die Eintrittstelle des Sehnerven in das Auge. Damit die Papille in das Gesichtsfeld eintritt, muß das untersuchte Auge nach innen gerichtet sein und zwar so, daß es, ohne daß die Versuchsperson ihren Kopf dreht, über das gleichnamige Ohr des Beobachters hinblickt. Dabei müssen der Untersucher und die Versuchsperson ganz gerade einander gegenüber sitzen.

Im Augenspiegelbild sollen nun ferner die vom roten Grunde sich abhebenden Netzhautgefäße beobachtet werden. Die Arterien sind durch ihre hellere rote Farbe sowie durch den stärkeren Lichtreflex von ihrer Oberfläche erkenntlich. Zwischen den Netzhautgefäßen ist der Augengrund je nach der vorhandenen Pigmentmenge hellrot bis braun; besonders in den mehr peripheren Teilen bemerkt man, wie das Gefäßnetz der Aderhaut durchschimmert.

Die Macula centralis retinae enthält keine Gefäße: sie tritt im Augenspiegelbild hervor, wenn das beobachtete Auge gerade in das Auge des Untersuchers blickt.

In astigmatischen Augen erscheint die Papille nicht rund, sondern oval; beim Augenspiegeln im umgekehrten Bilde entspricht die große Achse der

Ovale, wenn, wie gewöhnlich, der Brennpunkt der Sammellinse nach innen von dem Knotenpunkte des untersuchten Auges liegt, der Richtung des am schwächsten brechenden Meridians; wenn der Brennpunkt der Linse außerhalb des Knotenpunktes des beobachteten Auges liegt, gibt die größte Achse der Ovale die Richtung des am stärksten brechenden Meridians an.



Figur 292. Augenspiegelbild des Kaninchens, nach af Schultén.

Zur ersten Übung bei der Benutzung des Augenspiegels kann man ein Augenmodell benutzen. Dieses besteht aus einem Zylinder von 2 cm Durchmesser, welcher durch einen verschiebbaren Deckel zugeschlossen ist. Der Deckel hat ein Loch, in welches eine konvexe Linse eingesetzt ist. Innen ist der Zylinder geschwärzt und hat auf seinem Boden eine Skala oder eine Abbildung des normalen Augengrundes. Durch Verschieben des Deckels kann das „Auge" kürzer oder länger gemacht werden und hierdurch also die verschiedenen Arten der statischen Refraktion nachgeahmt werden.

Man wirft Licht in dieses Auge wie beim wirklichen Ophthalmoskopieren hinein und sucht ein deutliches Bild der auf dem Grunde derselben befindlichen Figur zu bekommen.

Sehr schön läßt sich das Augenspiegelbild beim Kaninchen nach einem von af Schultén ausgearbeiteten Verfahren demonstrieren (Fig. 291).

Hierbei werden zwei konkave Spiegel benutzt. Der Beleuchtungsspiegel *b* von 20 cm Brennweite und 10 cm Durchmesser hat in seiner Mitte ein Loch, durch welches der Untersucher auf das Netzhautbild blickt. Von diesem Spiegel werden die Lichtstrahlen in der aus der Figur ersichtlichen Weise gegen den Spiegel *e* von etwa 30 cm Brennweite geworfen. Dieser Spiegel belichtet das ihm zugekehrte Auge des Tieres (das also vom Beobachter abgewandt ist) und muß so eingestellt werden, daß das zentrale Loch im Spiegel *b* in der Mitte der Hornhaut des untersuchten Auges abgebildet wird. Dadurch wird der Einfluß der Regenbogenhaut aufgehoben; durch kleine Veränderungen der Einstellung werden endlich auch die Lichtreflexe von der Hornhaut vermieden.

Die beiden Spiegel sind in Kugelgelenken allseitig beweglich.

Das mit Chloral narkotisierte Kaninchen wird in der Bauchlage auf das Operationsbrett gebunden und die Augenlider mittels durchgezogenen Fäden oder eines Lidhalters auseinandergezogen. Nachdem der optische Apparat einmal eingestellt ist, dreht man den Kopf des Tieres so, daß das zu beobachtende Auge ziemlich stark nach oben gekehrt ist, denn nur in dieser Stellung tritt die Papille in das Spiegelbild auf.

Man kann nun ohne weiteres den Augengrund durch das Loch im Spiegel *b* beobachten.

Figur 292 stellt das Augenspiegelbild nach af Schultén dar.

II. Die Gesichtsempfindungen.

A. Die erregbare Schicht der Netzhaut.

1. Der blinde Fleck.

Daß die Sehnervenfasern nicht an und für sich vom Licht erregt werden können, geht aus dem Mariotteschen Versuch hervor.

Man schließt z. B. das linke Auge, zeichnet auf ein Papier ein Kreuzchen, das als Fixierzeichen für das rechte Auge dienen soll. Während man nun das Kreuz scharf fixiert, führt man, beginnend vom Fixierzeichen, einen Bleistift nach rechts und gibt genau acht, wenn die Spitze nicht mehr sichtbar ist; hier macht man einen vertikalen Strich und führt die Spitze noch weiter nach rechts, bis sie wieder sichtbar wird. Diese äußere Grenze des blinden Fleckes wird wieder mit einem kleinen Strich ausgezeichnet. Die Entfernung zwischen diesen Strichen stellt die Projektion des horizon-

talen Diameters des blinden Fleckes dar. Von diesem ausgehend führt man nun die Spitze in allen Richtungen und erhält also allmählich die ganze Projektion des blinden Fleckes. Hierbei darf man den Blick nicht vom Fixierzeichen bewegen.

Sehr schön ist der Versuch, wenn die Versuchsperson sich in etwa 2—3 Meter Entfernung von der schwarzen Tafel stellt und ein dort angebrachtes Kreuz fixiert, während ein Assistent ein Stück Kreide, wie hier oben beschrieben, nach rechts führt, und nachdem die Projektion des horizontalen Diameters gefunden ist, durch entsprechende Bewegungen den blinden Fleck in dessen ganzem Umfange auf die Tafel zeichnet. Stellt sich nun eine erwachsene Person an die Tafel, so deckt der blinde Fleck ihren Kopf vollständig.

2. Die Purkinjesche Aderfigur.

Nähere Aufschlüsse über die Lage der erregbaren Schicht in der Netzhaut werden aus dem Purkinjeschen Versuch über die entoptische Sichtbarkeit der Retinalgefäße erhalten.

In einem schwach beleuchteten Zimmer blickt man mit dem einen Auge auf die gegenüberliegende Wand, während das andere Auge geschlossen ist, und dreht das offene Auge möglichst stark nach innen, so daß ein möglichst großer Teil der Sklera in der Rima oculi sichtbar wird. Nun wirft man durch die Sklera hindurch Licht in das Auge hinein. Dies kann entweder dadurch geschehen, daß die Versuchsperson selber eine Stearinkerze an der Seite des Kopfes auf und nieder bewegt, oder auch (und besser) so, daß ein Assistent mittels einer konvexen Linse von etwa 10 Dioptrien das scharfe Bild einer Flamme (Stearinkerze, elektrisches Licht oder Gasflamme) auf der Sklera möglichst weit vom Hornhautrande entwirft und dieses Bild durch kleine Bewegungen der Linse auf der Sklera wandern läßt. Dann sieht die Versuchsperson auf der gegenüberliegenden Wand plötzlich einen vielverästelten Baum von schwarzen Linien, der nichts anderes ist als das Bild des von den Retinalgefäßen geworfenen Schattens. Die lichtempfindliche Schicht der Netzhaut muß also nach außen von der Schicht liegen, wo die Netzhautgefäße verlaufen.

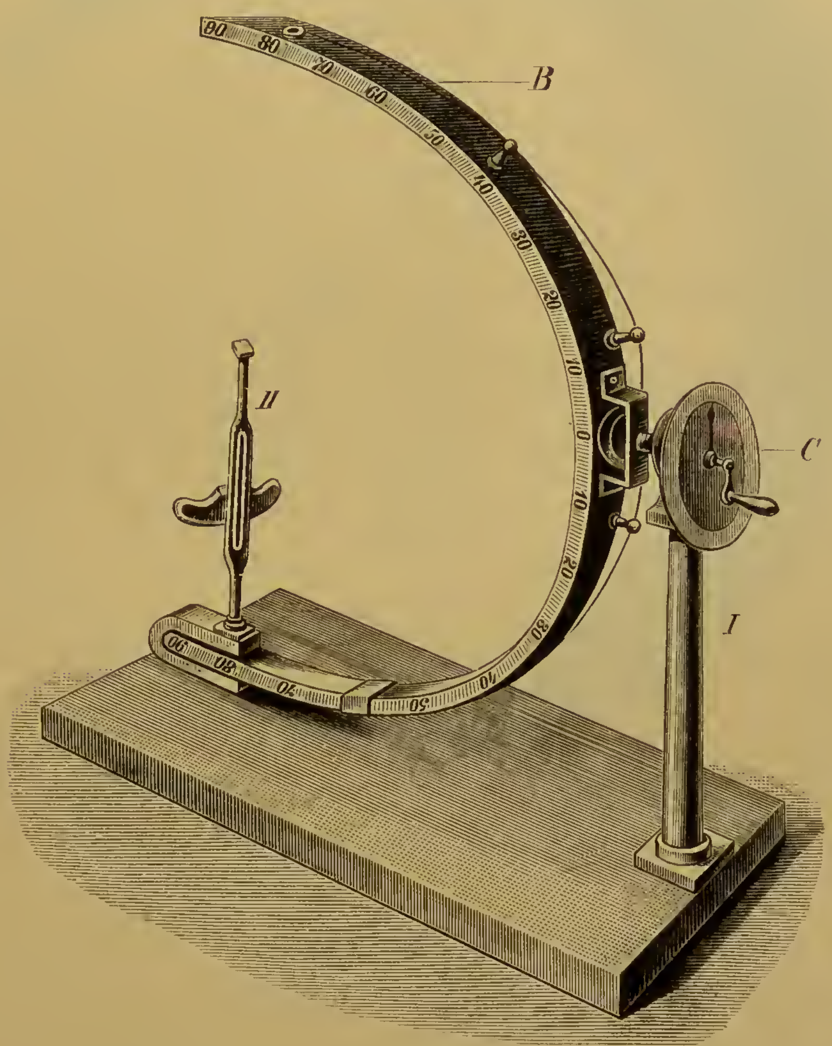
B. Das Gesichtsfeld.

Das Gesichtsfeld des ruhenden Auges umfaßt alle Stellen der Außenwelt, von welchen her Strahlen nach der Netzhaut gebrochen werden können. Zur Messung desselben benutzt man Apparate, welche die Ausdehnung des Gesichtsfeldes in Bogengraden angeben.

Das Perimeter von Förster (Fig. 293) besteht aus einem an seinem Rande in Grade geteilten Kreisbogen von etwa 35 cm Radius. Mit seiner Mitte ist dieser Kreisbogen an einem Pfeiler (I) befestigt und kann durch

Drehung um seine hier befindliche Achse in verschiedene Meridiane eingestellt werden. Im Mittelpunkt des Kreisbogens steht ein zweiter Pfeiler (II), welcher eine verstellbare Stütze für das Kinn trägt. Der Kopf wird nun so gehalten, daß sich das zu untersuchende Auge gerade gegenüber der Mitte des Kreisbogens befindet.

In der Mitte des Kreisbogens findet sich eine kleine weiße Scheibe. Das Auge fixiert diese Scheibe scharf und ohne sich zu bewegen. Währenddessen führt man von der Mitte nach der Peripherie oder umgekehrt längs dem Kreisbogen eine andere kleine weiße Scheibe. Das Versuchs-



Figur 293. Försters Perimeter.

individuum hat nun anzugeben, wann diese Scheibe verschwindet bzw. wieder erscheint. Man notiert sich die entsprechende Gradzahl am Kreisbogen des Perimeters und bestimmt im Anschluß daran die Ausdehnung des Gesichtsfeldes in demselben Meridian nach der anderen Seite. Dann wird der Perimeterbogen in einen anderen, um 20° entfernten Meridian gestellt und die Untersuchung in der schon beschriebenen Weise wiederholt.

Die Resultate dieser Bestimmungen werden in dazu hergestellte Schemata eingetragen, welche eine Menge von konzentrischen, den Gradzahlen am Perimeterbogen entsprechenden Kreisen, sowie, von 20° zu 20°, den Augenmeridianen entsprechenden Durchmessern enthalten (Fig. 294). Für

jeden Meridian werden die Grenzen des Gesichtsfeldes angegeben und die solcherart bestimmten Punkte durch gerade Linien verbunden.

Mittels zweckmäßig gewählter Marken aus rotem, grünem und blauem Papier untersucht man in derselben Weise die Ausdehnung des Sehfeldes



Figur 294. Perimeterkarte.

für diese Farben. Dabei hat die Versuchsperson die Grenzen, innerhalb welcher sie die Farbe noch erkennt, anzugeben.

Bei der Anwendung des Perimeters stellt man das Instrument auf einen Tisch, so daß der Bogen gut beleuchtet ist; die Versuchsperson sitzt mit dem Rücken der Lichtquelle zugekehrt.

C. Die Umstimmung des Auges; die Lichtempfindlichkeit in verschiedenen Teilen der Netzhaut.

1. Die Umstimmung des Auges.

Zur genauen Feststellung, in welchem Grade die Lichtempfindlichkeit des Auges beim Aufenthalt im Dunkeln gesteigert wird, sind besondere Apparate nötig, die nicht in jedem Institut vorhanden sind und die hier nicht beschrieben werden können.

Andererseits läßt sich die bedeutende Zunahme der Lichtempfindlichkeit im Dunkeln mit verhältnismäßig einfachen Mitteln approximativ nachweisen, weshalb wenigstens solche Versuche in einem physiologischen Praktikum ohne Schwierigkeit aufgenommen werden können.

Zu diesem Zwecke benutze ich eine in ein Gehäuse eingeschlossene schwache Glühlampe aus Mattglas. Die Öffnung des Gehäuses ist durch Milchglas oder einfach durch mehrere Schichten Papier geschlossen; in der Leitung zur Lampe ist ein Rheostat (Fig. 31), durch welchen die Lichtstärke stark variiert werden kann, eingeschaltet; dicht vor der Lampe steht eine Irisblende mit einer maximalen Öffnung von 7.5 cm, sowie ein Leseglas von 12 cm Weite. Letzteres ist so plaziert, daß es die vom belichteten Papier kommenden Strahlen etwa parallel macht und auf einen in passender Entfernung aufgestellten weißen Schirm wirft. Dieses Bild wird als Objekt benutzt, und die Versuchsperson sitzt daher hinter der Beleuchtungsvorrichtung; durch einen Kasten wird davon kommendes seitliches Licht abgeblendet.

Zu Anfang des Versuches, wenn die Versuchsperson in das verdunkelte Zimmer eintritt, wird durch Verstellen des Rheostaten, bei weit offener Irisblende, die Lichtstärke soweit verringert, daß das vom Leseglas auf dem Schirm entworfene Bild gerade nicht mehr sichtbar ist. Je nachdem, auf Grund der immer mehr fortschreitenden Dunkeladaptation, das Bild wieder sichtbar wird, wird die Öffnung der Irisblende vermindert, bis sie schließlich ihr Minimum von 0.5 cm Diameter erreicht hat. Da der Durchmesser der Blende anfangs 7.5 cm betrug, hat also im Laufe des Versuches, der nur wenige Minuten gedauert hat, die Lichtempfindlichkeit des Auges im Verhältnis von $7.5^2/0.5^2 = 225$ zugenommen. Als Orientierung kann dies schon genügen; man kann indessen den Versuch noch fortsetzen, indem man nun durch weitere Verschiebung am Rheostaten die Lichtstärke der Glühlampe selbst verändert.

Diese einfache Vorrichtung eignet sich auch für andere Versuche bei schwacher Belichtung ganz gut.

2. Die Lichtempfindlichkeit in verschiedenen Teilen der Netzhaut.

a) Um nachzuweisen, daß beim dunkeladaptierten Auge die Netzhaut in der Peripherie lichtempfindlicher ist als nahe dem Zentrum, bohrt man in eine an dem einen Ende geschlossene Gasleitungsröhre von etwa 1 m Länge etwa zehn kleine Löcher und verbindet das andere Ende mittels eines Schlauches mit der Gasleitung, und zwar so, daß, wie bei dem Bunsenschen Brenner, Luft mit dem Gas gemischt wird. Man läßt nun so viel Gas hinein, daß die bläulichen Flammen ganz klein sind. Wenn man eine Flamme fixiert, kann man konstatieren, daß die peripheren Flammen heller leuchten.

b) Eine weiße Figur, z. B. der Buchstabe A, auf schwarzem Grunde, 40 cm hoch, wird im Dunkelzimmer von der mit stellbarer (Iris-) Blende

versehenen Laterne aus schwach beleuchtet und aus 3—4 m Entfernung beobachtet. Direkt fixiert sieht die Figur viel dunkler aus, als wenn man den Blick 1 Meter abseits richtet.

c) Fünf weiße Punkte · ⁝ · werden bei einer Breite der ganzen Figur von 40—50 cm von der gleichen Lampe beleuchtet; der jeweils fixierte Punkt verschwindet, während die übrigen hell erscheinen.

Bei diesen Versuchen läßt sich die Seite 345 beschriebene Vorrichtung gut benutzen.

D. Der Sehpurpur.

Unter den funktionellen, an der Netzhaut selbst nachweisbaren Veränderungen des Sehorgans sei hier nur die Bleichung des Sehpurpurs erwähnt, da das Studium des Aktionsstromes für das Praktikum wohl zu kompliziert ist und die morphologischen Veränderungen in die Histologie gehören.

Um die Purpurfarbe der Netzhaut nachzuweisen, werden kräftige Frösche 1—2 Stunden lang im Dunkeln gehalten und dann getötet. Die Augen werden in der photographischen Dunkelkammer schnell enukleiert, indem man den Hautwulst über dem Auge entfernt, den Schädel hinter dem Auge in der Orbita fast bis zur Mittellinie zerschneidet und dann den Vorderteil des Kopfes spaltet. Der Bulbus wird mit einer feinen Schere nach Abspülen in Kochsalzlösung äquatorial gespalten.

In der hinteren Bulbushälfte ist der Sehnerveneintritt als durchscheinender Punkt sichtbar; hier greift man mit einer spitzigen Pinzette zu und bringt meistens leicht die ganze Netzhaut als klares Klümpchen heraus, das man flüchtig in frischer Kochsalzlösung abspült.

Um die Lösung der Netzhaut von der Aderhaut zu erleichtern, ist es vorteilhaft, durch Kuraresierung ein Ödem zu erzeugen, das die beiden Häute voneinander löst.

Isolierte Netzhäute vom Frosch oder Kaninchen werden am besten auf Porzellanschälchen oder Porzellanknöpfe vom Durchmesser des betreffenden Auges gestülpt, so daß sie faltenlos liegen. Der Eintritt des Sehnerven muß umschnitten werden.

Wenn die purpurhaltige Netzhaut dem Licht ausgesetzt wird, geht ihre Farbe durch Gelb ins Weiß über.

E. Die Reizung der Netzhaut.

1. Der zeitliche Verlauf der Erregung.

a) Die Nachbilder.

Um die nach kurzdauernder Belichtung entstehenden Nachbilder zu beobachten, kann man mit großem Nutzen die Glühlampe anwenden. In einem mäßig hellen Zimmer fixiert man während einiger Sekunden den Glühfaden und löscht dann die Lampe aus. Man kann nun durch Fixieren

der gegenüberliegenden Wand das Nachbild des Fadens erkennen und dessen Farbenveränderungen bei geöffnetem und geschlossenem Auge verfolgen.

b) Das Ansteigen des Lichteindruckes.

Um nachzuweisen, daß der Anstieg des Lichteindruckes zum Maximum eine gewisse Zeit erfordert, ist schon eine einfache, aus gleichgroßen schwarzen und weißen Sektoren zusammengesetzte Kreiselscheibe genügend (Fig. 295). Diese Scheibe wird am besten aus Barytpapier (dessen Barytfläche nicht mit dem Finger berührt werden darf), auf welches Sektoren aus schwarzem, nicht glänzendem Papier geleimt werden, hergestellt.



Figur 295. Kreiselscheibe.



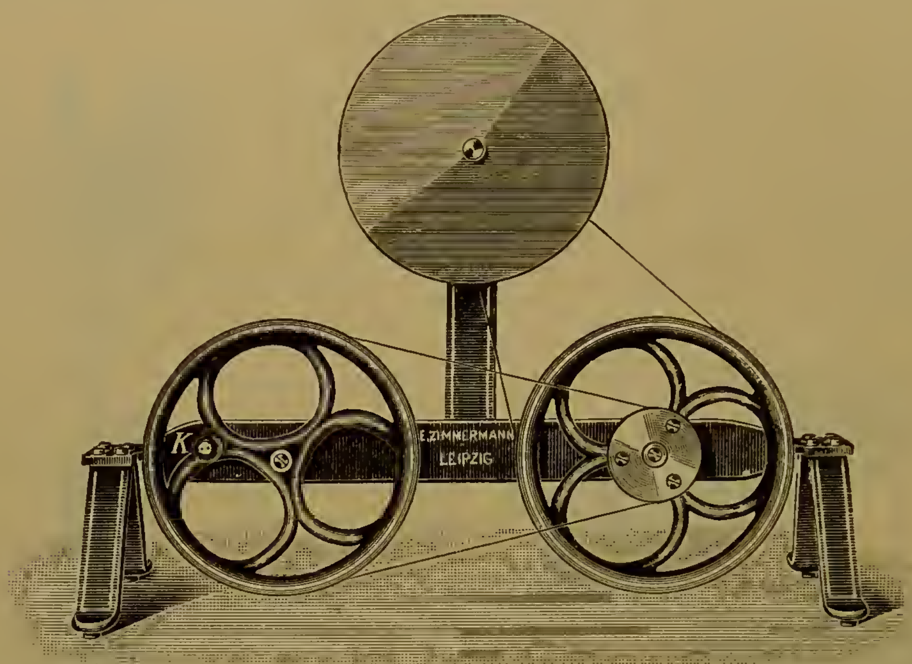
Figur 296. Farbenkreisel.

Die Scheibe wird auf eine Achse fixiert und mit der Hand, mit einem Uhrwerk (Fig. 296) oder einem Motor (vgl. Fig. 297) bewegt. Letzteres ist, in der Beziehung wenigstens, daß hier die Zahl der Umdrehungen durch zweckmäßig gewählte Übersetzungen in größerem Umfange variiert werden kann, das beste, denn um Versuche in dieser Richtung zu machen, ist es sehr wünschenswert, verschiedene konstante Geschwindigkeiten beliebig lange prüfen zu können.

Hierdurch kann man bei einer Scheibe wie der in der Figur 295 abgebildeten nachweisen, wie bei allmählich zunehmender Umdrehungsgeschwindigkeit von einer Umdrehung in der Sekunde anfangend die Ränder der Sektoren zuerst verwischt werden, was ja zeigt, daß die Entstehung des Scheindruckes wie auch dessen Verschwinden eine gewisse Zeit beansprucht; wie ferner bei einer etwas größeren Geschwindigkeit die Scheibe flimmert, d. h. ein Spiel von verschiedenen Farben zeigt, was wiederum beweist, daß die Entstehung und das Abklingen der Erregung bei den einzelnen Licht-

strahlen nicht in derselben Zeit erfolgt; und schließlich wie bei noch größerer Geschwindigkeit alles in ein gleichförmiges Grau übergeht.

Die Zahl der Umdrehungen läßt sich, bei bekannter Umdrehungszahl des Motors, durch Bezugnahme auf die bei jedem einzelnen Versuch benutzte Übersetzung berechnen; auch läßt sich ja durch eine Schraube ohne Ende ein Zählerwerk beeinflussen, was indessen ziemlich kostspielig ist; endlich kann man ja hierzu die gewöhnlichen, in der Technik benutzten Apparate zur direkten Messung der Umdrehungszahl einer Maschine benutzen.



Figur 297. Farbenkreisel.

Bei der Bestimmung der Verschmelzungsfrequenz an einer Scheibe aus weißen und schwarzen Sektoren ist noch zu berücksichtigen, daß im Auge Zentrum und Peripherie sich selbst im helladaptierten Zustande verschieden verhalten. Man betrachte also den Kreisel entweder aus mindestens 2—5 m Entfernung oder stelle ein Diaphragma davor (Kartonscheibe mit Loch; der Karton darf nicht erheblich dunkler oder heller beleuchtet sein als die Kreiselscheibe), das einen fovealen Bezirk ausschneidet.

2. Die elektrische Reizung des Auges.

Bei der elektrischen Reizung des Sehorgans werden die Elektroden (konstanter Strom) in folgender Weise angelegt. Die eine Elektrode wird mit großer Fläche am Nacken oder an der Brust f e s t angelegt. Um die andere Elektrode genügend fest in der Nähe des Auges zu befestigen, bedient man sich einer Automobilbrille, die fest am Kopfe anschließt. Innen, wo die Brille am Gesicht anliegt, befestigt man ein etwa bohnengroßes Stück Badeschwamm oder Watte, mit schwacher Kochsalzlösung getränkt, in dem der Zuleitungsdraht befestigt wird; das Schwammstück wird, je nach dem gewünschten Reizort, über, unter oder neben dem Auge angebracht. Dabei

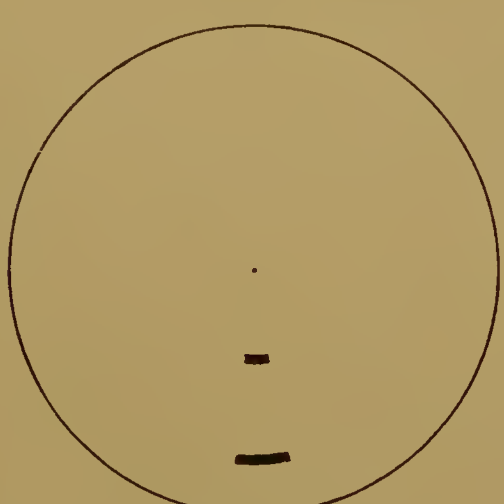
läßt sich die Anordnung leicht so treffen, daß das Auge offen bleibt und auf helle oder dunkle Flächen gerichtet werden kann. Die Augenelektrode muß möglichst fest anliegen, damit die Stromdichte an den Berührungsstellen mit der Haut nicht zu groß ist, denn wenn eine etwas starre Schwammelektrode die Haut nur an einzelnen Stellen berührt, verursachen selbst mäßige Ströme ein heftiges Brennen. Die Brille mit der Elektrode muß daher etwa 10 Minuten vor dem Versuch angelegt werden, damit auch die Epidermis gut durchtränkt ist (Nagel).

Zum Versuche werden Batterien mit 4—8 Volt Spannung benutzt. Um besonders bei höheren Spannungen die lästigen Schließungs- und Öffnungsreize möglichst zu beseitigen, werwendet man am besten Flüssigkeitswiderstände, wie den Kompressionsrheostaten von Blasius und Schweizer.

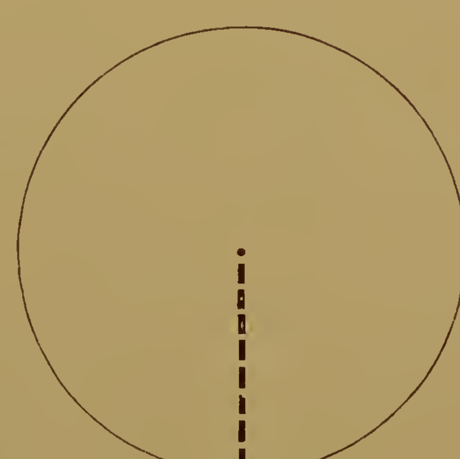
Dieser besteht aus einem 10 cm langen schwarzen Gummischlauch von 4 $^{1}/_{2}$ mm innerem Durchmesser, der mit einer konzentrierten Lösung von Zinksulfat gefüllt wird. In jedes Ende wird ein amalgamierter Zinkstab eingeführt und dann der Schlauch mit Kork geschlossen. Die Entfernung zwischen den beiden Stiften beträgt etwa 2 cm. Wird der Schlauch nun mittels einer Schraubklemme in der Mitte zusammengedrückt, so wird der Strom allmählich auf Null herabgesetzt und umgekehrt, bei ganz allmählichem Aufschrauben der Schraube, ohne sprungförmiges Ansteigen bis zu voller Höhe gesteigert.

3. Auffassung quantitativer Unterschiede der Lichtstärke.

Das einfachste Mittel, quantitative Unterschiede der Lichtstärke zu messen, stellt die Massonsche Scheibe dar.



Figur 298. Massonsche Scheibe.



Figur 299. Massonsche Scheibe.

Diese besteht aus einer weißen Scheibe aus Barytpapier (vgl. S. 347), auf welche Ringstücke aus tiefschwarzem Papier aufgeklebt sind. Man kann entweder wie in Figur 298 mehrere konzentrische, radiär begrenzte Stücke von steigender Winkelgröße anbringen, oder auch wie in Figur 299

einen an einigen Stellen unterbrochenen Radius von konstanter Breite durch die Scheibe ziehen.

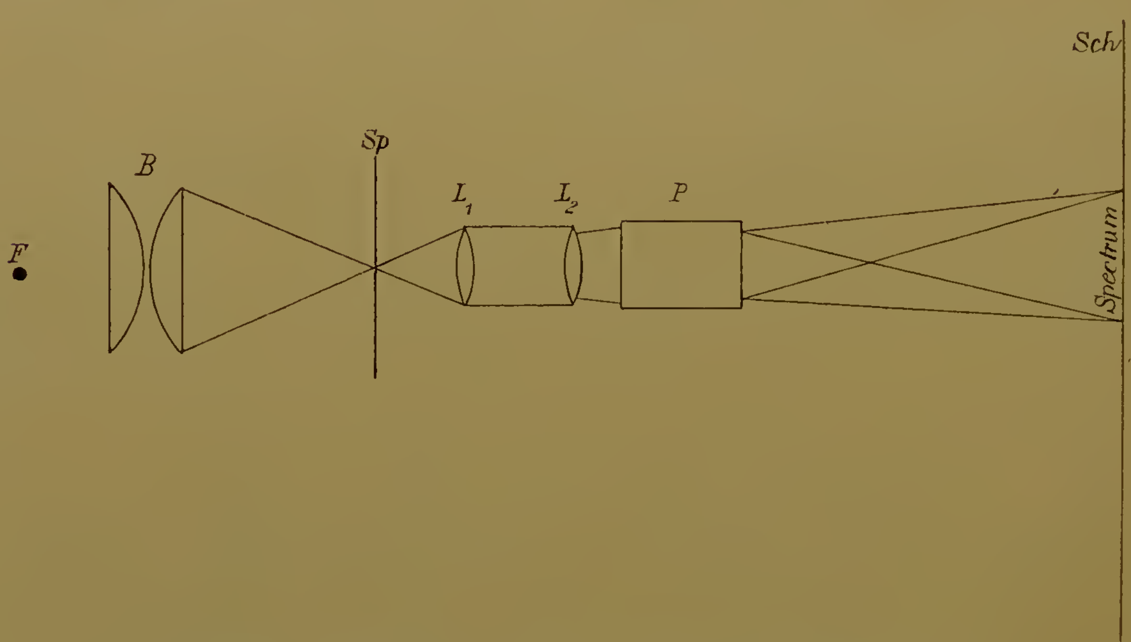
Die Scheibe wird wie die oben erwähnte Kreiselscheibe mindestens 30 mal in der Sekunde umgedreht. Es stellen sich dann auf dem weißen Grund verschieden starke graue Ringe dar, welche den schwarzen Sektoren entsprechen. Man hat nun zu bestimmen, welcher der Ringe eben noch unterschieden werden kann.

Wenn die Helligkeit des weißen Grundes der Scheibe gleich 360 und die des schwarzen Papieres gleich Null ist, so ist sie an der Stelle eines schwarzen Sektors (Fig. 298) von x Grad gleich $360 - x$. Das Verhältnis zwischen der Verminderung der Lichtstärke des gerade erkennbaren grauen Ringes und der Lichtstärke des weißen Grundes, d. h. die Unterschiedsempfindlichkeit, ist also gleich $x/360$. Bei einer Scheibe von der in Figur 299 dargestellten Form ist die Unterschiedsempfindlichkeit, wenn d die Breite des schwarzen Radius und r die mittlere Entfernung des entsprechenden Kreises vom Mittelpunkt der Scheibe bezeichnet, gleich $d/2\pi r$.

III. Die Farbenempfindungen.

A. Die Lichtstärke in den verschiedenen Teilen des Spektrums.

Nur durch spezielle Apparate läßt sich die Empfindlichkeit des Auges für die einzelnen leuchtenden Strahlen exakt feststellen.



Figur 300. Anordnung zur Projektion eines Spektrums, nach Nagel.

Mit einem gewöhnlichen Spektroskop bzw. an einem projizierten Spektrum kann man nur im allgemeinen nachweisen, daß die Helligkeit beim helladaptierten Auge am größten in Orange ist, um von da nach beiden Seiten abzunehmen.

Bei der Projektion eines Spektrums (Fig. 300) werden die von der Lampe kommenden Strahlen durch die Beleuchtungslinse *B* auf den Spalt *Sp* konzentriert; das Projektionsobjektiv *L* bildet den Spalt vergrößert auf dem Schirm *Sch* ab. Wenn das Bild scharf ist, wird in den Weg der Strahlen das Prisma *P* vor das Objektiv gestellt.

Am projizierten Spektrum kann man außerdem noch zeigen, wie sich das Maximum der Lichtstärke bei schwacher Belichtung und dunkeladaptiertem Auge nach der mehr brechbaren Seite des Spektrums verschiebt. Zu diesem Zwecke stellt man in den Weg des Strahlenbündels vor das Prisma einen Episkotister, wodurch bei unveränderter Zusammensetzung des Strahlenbündels die absolute Stärke des Lichtes nach Belieben vermindert wird. Auch kann die Lichtstärke des Spektrums durch Verkleinerung der Spalte herabgesetzt werden.

B. Der Sättigungsgrad der Farben.

Das Vermögen, eine sehr weißliche Farbe von reinem Weiß zu unterscheiden, läßt sich approximativ mittels einer Massonschen Scheibe bestimmen, auf welche man statt schwarzen Papieres gefärbtes von möglichst großer Sättigung aufgeklebt hat (vgl. auch unten S. 356).

C. Zur Theorie der Farben.

1. Farbige Nachbilder.

Um die farbigen Nachbilder zu beobachten, braucht man nur irgendwelche Farbe auf eine weiße Karte zu malen, bzw. ein Stück aus farbigem Papier darauf zu kleben, diese Farbe $^1/_2$ Minute lang genau zu fixieren und dann den Blick auf eine graue Wand zu richten: man sieht dann das farbige Nachbild sehr deutlich in der Komplementär- oder Gegenfarbe des Objektes.

Zur Demonstration der farbigen Nachbilder vor einem größeren Kreis von Zuhörern eignet sich der von Nendel in Leipzig hergestellte Kasten vorzüglich. Ein Karton von etwa 50 cm im Durchmesser ist mit rotem, grünem, gelbem, blauem oder violettem Papier überzogen und hat in seiner Mitte einen schwarzen Punkt als Fixierzeichen. Man stellt diesen Karton fast senkrecht auf ein Gestell und läßt $^1/_2$ Minute lang fixieren. Dann fällt man darüber einen anderen mit grauem Papier überzogenen Karton, der durch ein Charnier mit dem Gestell verbunden ist. Das Nachbild tritt nun sehr deutlich hervor.

2. Die Mischung von Farben.

Zum Ausbau der Lehre von den Farbenempfindungen sind die Mischungen von verschiedenen Farben von der allergrößten Bedeutung.

Als Farbenmischung verstehen wir die Summation von zwei oder mehreren verschiedenen Strahlengattungen.

a) Die Mischung zweier Pigmente.

Wie sie in der Malerei geübt wird, ist die Mischung zweier Pigmente keine Farbensummation, sondern im Gegenteil eine Farbensubtraktion.

Nehmen wir in erster Linie zwei farbige Gläser, ein blaues und ein gelbes; das eine läßt hauptsächlich die blauen, etwas weniger die grünen Strahlen, aber gar nicht die gelben Strahlen hindurch; das gelbe Glas läßt wiederum die gelben, weniger die grünen und gar nicht die blauen Strahlen passieren. Legt man nun diese Gläser aufeinander, so werden die blauen Strahlen von dem gelben Glase, die gelben von dem blauen Glase absorbiert, die absolute Stärke des durchgegangenen Lichtes ist also entschieden geringer und die Farbe desselben stellt nicht eine Summationsfarbe sondern eine Subtraktionsfarbe dar.

Dasselbe gilt auch von der Mischung pulverförmiger Farbstoffe. Wir müssen jedes einzelne Pulverteilchen als ein kleines durchsichtiges Körperchen betrachten, welches das Licht durch Absorption färbt. Wenn nun Licht auf ein solches aus durchsichtigen Teilen bestehendes Pulver fällt, wird ein kleiner Teil an der oberen Fläche reflektiert, der Rest dringt ein und wird erst von den tiefer liegenden Begrenzungsflächen der Pulverteilchen zurückgeworfen. Eine einzelne Tafel von weißem Glas reflektiert vom senkrecht einfallenden Licht $^1/_{25}$, zwei solche $^1/_{13}$, eine große Zahl fast alles. Bei einem Pulver aus weißem Glas müssen wir folglich schließen, daß bei senkrechter Inzidenz ebenfalls nur $^1/_{25}$ des auffallenden Lichtes von der obersten Schicht reflektiert wird, das übrige von den tieferen Schichten. Ebenso muß es sich für blaues Licht bei blauem Glas verhalten. Es wird also bei farbigen Pulvern stets nur ein kleiner Teil des Lichtes, welches sie geben, aus der obersten Schicht reflektiert, bei weitem das meiste aus tieferen Schichten. Das von der obersten Fläche reflektierte Licht ist weiß, wenn die Reflexion nicht eine metallische ist, und erst das aus den tieferen Flächen zurückkehrende ist durch Absorption gefärbt, um so tiefer, je länger sein Weg in der Substanz gewesen ist.

Deshalb ist auch gröberes Pulver desselben Farbstoffes dunkler gefärbt als feineres (Zinnober wird für die Zuhörer zerrieben). Bei der Reflexion kommt es nämlich nur auf die Anzahl der Oberflächen, welche bei einem feinen Pulver größer ist, und nicht auf die Dicke der Teile an.

Die Reflexion an den Oberflächen der Pulverteilchen wird geschwächt, wenn wir ein flüssiges Verbindungsmittel zwischen sie bringen, dessen Brechungsvermögen dem ihrigen näher steht als das der Luft. Daher sind trockene Pulver von Pigmenten in der Regel weißlicher, als wenn sie mit Öl durchtränkt sind — Versuche mit Zinnober, Mennige, Berlinerblau.

Wenn ein farbiges Pulver Licht nur aus der obersten Schicht reflek-

tierte, in welchen Teilchen von beiden Farben gleichmäßig durcheinander liegen, würde das zurückgeworfene Licht wirklich dic Summe des Lichtes sein, welches die einzelnen ungemischten Pulver geben. Für die größere Menge reflektierten Lichtes aber, welches aus den tieferen Schichten zurückkommt, ist das Verhältnis ebenso wie bei voreinander gestellten farbigen Gläsern. Dieses Licht hat auf seinem Wege Pulverteilchen von beiderlei Art passieren müssen und enthält also nur noch diejenigen Lichtstrahlen, welche durch beide Arten von Pulverteilchen hindurchgehen können. Für den größten Teil des Lichtes, welches von gemischtem Farbenpulver zurückgeworfen wird, findet also nicht eine Summation beider Farben, sondern eine Subtraktion statt. Daher erklärt sich auch die Tatsache, daß die Mischungen von Pigmenten viel dunkler sind als die einfachen Pigmente, namentlich wenn ihre Farben weit auseinander liegen. Versuch mit einem gelben (Chromblei) und einem blauen Farbstoff (Berlinerblau).

b) Mischung von verschiedenfarbigen Lichtstrahlen.

Eine wirkliche Farbenmischung findet also entweder durch tatsächliche Addition zweier Spektralfarben oder zweier durch Strahlenfilter dargestellten Farben oder mittels des Farbenkreisels statt.

Apparate für die Mischung reiner Spektralfarben kommen wohl nur in ganz seltenen Ausnahmefällen im Praktikum vor und können deshalb nicht hier besprochen werden.

Um möglichst homogene Lichter zu gewinnen, benutzt man Strahlenfilter aus gefärbtem Glas, gefärbtem Gelatinepapier und gefärbten Flüssigkeiten, welche in richtiger Kombination ziemlich reine Farben hindurchlassen.

Zur Prüfung der Filterwirkung kann man einfach das Absorptionsspektrum des Filters untersuchen, indem man dasselbe zwischen Lichtquelle und Spalt des Spektroskopes bringt und das Spektrum entweder auf die Wand projiziert oder es direkt beobachtet. Zu diesem Zwecke ist z. B. das Vergleichsspektroskop von Pulfrich (vgl. S. 70) zu empfehlen.

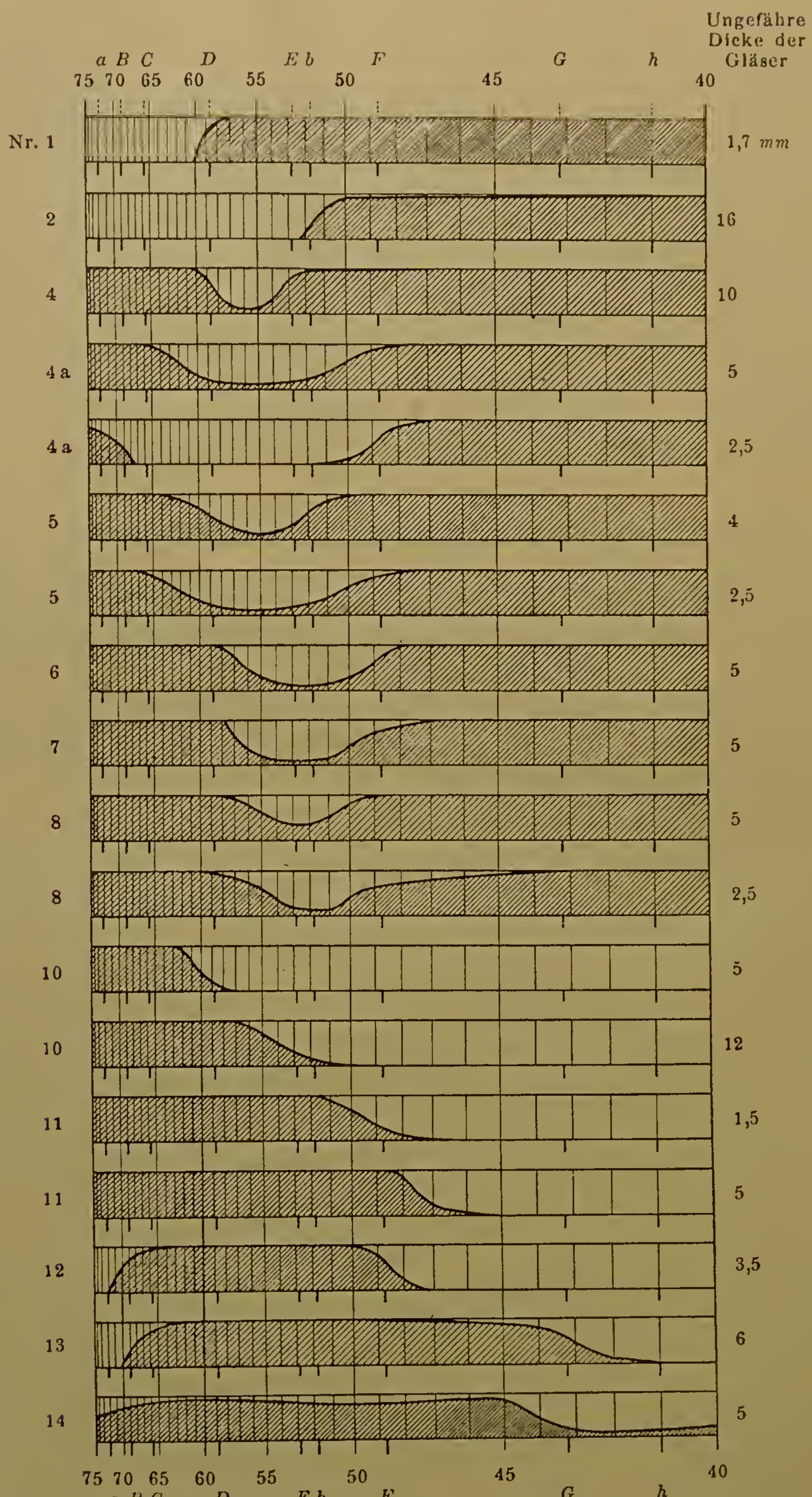
Für die genauere Bestimmung der in einem Lichtfilter stattfindenden Absorption muß man sich des Spektrophotometers bedienen.

Als Beispiel einiger Farbenfilter verweise ich auf Figur 301 hin, welche die Durchlässigkeit verschiedener von der Firma Schott und Genossen in Jena hergestellter farbiger Gläser angibt. Die Nummern beziehen sich auf die Glassorte, nämlich 1 Kupferrubinglas, 2 Uranglas, 4 Chromglas, 4a Chromglas, 5 Chromglas, 6 Kupferchromglas, 7 Grünfilter, 8 Grünfilter, 10 Kupferglas, 11 Blauviolettglas, 12 Kobaltglas, 13 Nickelglas, 14 Violettglas.

Unter Anwendung dieser und anderer Farbenfilter, welche hier nicht erwähnt werden können, kann man zur wirklichen Farbenmischung unter anderem folgende Vorrichtungen benutzen.

a. Zwischen die Beleuchtungslinse B (Fig. 302) und die Projektionslinsen L_1 L_2 wird ein Rahmen geschoben, in welchem die beiden Lichtfilter F_1 und

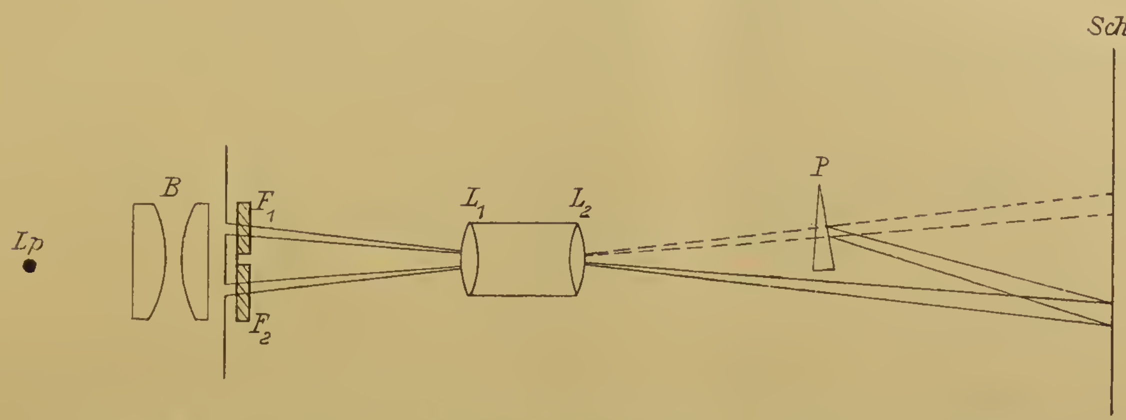
F_2 durch einen undurchsichtigen Streifen getrennt befestigt sind. Die Projektionslinsen bilden diesen Rahmen auf dem Schirm scharf ab. Ein spitz-



Figur 301. Absorption von farbigen Gläsern, nach Schott und Genossen.

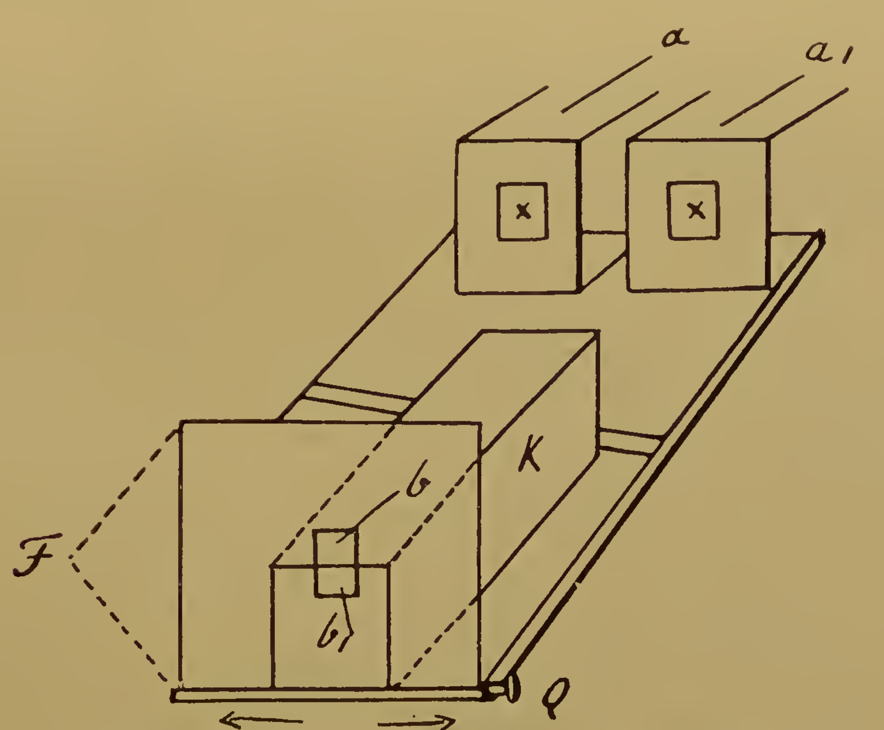
winkeliges Prisma P lenkt die Strahlen des einen Bildes so ab, daß es mit dem anderen zur völligen oder partiellen Deckung kommt.

β. In einem Kasten ist auf der Vorderseite ein Milchglasfenster $b\,b_1$ (Fig. 303) angebracht, das von zwei im Innern des Kastens nebeneinander stehenden farbigen Lichtquellen $a\,a_1$ (Glühlampen in Gehäuse mit vorgesetzten Lichtfiltern) beleuchtet wird. Das Fenster ist in der Seitenrichtung verschiebbar. Je nachdem es mehr nach rechts oder links geschoben wird,



Figur 302. Anordnung zur Farbenmischung mittels Strahlenfilter, nach Nagel.

erhöht man den Anteil der einen oder anderen Mischungskomponente. Die untere Hälfte b_1 des Fensters wird von einer dritten Lichtquelle beleuchtet, die in einem lichtdichten Gehäuse *k* an der Innenseite der Vorderwand des Kastens angebracht wird, sich also mit dieser zusammen verschiebt. Wählt



Figur 303. Apparat zur Farbenmischung, nach Meisling.

man dieses dritte Licht farblos, das erste und zweite rot und blaugrün, so kann man Bestimmungen der Komplementärmischungen und Ähnliches ausführen. Die Intensitätsregulation erfolgt durch Blenden.

γ. Hering hat folgende Methode eingeführt.

Im Fensterladen eines Dunkelzimmers mit womöglich schwarzen Wänden befindet sich ein rechteckiger Ausschnitt, durch welchen das Himmelslicht

frei einfallen kann. Verdeckt man ihn mit einer farbigen Glastafel, so erscheint eine kleine, in passender Entfernung angebrachte, eigentlich weiße Papierscheibe vor dem dunklen Hintergrunde in der Farbe des Glases, wenn man sie von der Seite des Fensters her betrachtet. Verdeckt man aber nur einen Teil des Ausschnittes mit diesem Glase, den übrig bleibenden Teil mit einem andersfarbigen Glase derart, daß die beiden Gläser mit ihren abgeschliffenen Rändern dicht zusammenstoßen, so erscheint die Papierscheibe in derjenigen Farbe, welche sich aus der Mischung der von beiden Gläsern durchgelassenen Lichter ergibt. Verschiebt man die Gläser so, daß sie sich in einem anderen Verhältnisse an der Deckung des Ausschnittes beteiligen, so ändert sich in demselben Verhältnis die Mischung der beiden Lichter und dementsprechend die Farbe der Papierscheibe.

Um die Gläser bequem verschieben zu können, werden sie in einem Rahmen befestigt, der mittels einer Schlittenführung über dem Ausschnitte verschoben werden kann. Jedes Glas muß etwas größer sein als der Ausschnitt, damit es denselben auch allein zu decken vermag.

Man kann auch zwei gleichgroße rechtwinklige Ausschnitte nebeneinander im Laden anbringen und jeden mit einem der beiden Gläser verdecken, deren Farben man mischen will.

Mit diesen beiden Ausschnitten kann man noch folgende Versuche ausführen. Befindet sich vor dem einen der oben beschriebene, vertikal verschiebbare Rahmen mit zwei farbigen Gläsern, so kann man vor dem anderen Ausschnitt eine mattgeschliffene farblose Glastafel anbringen. Ein horizontal verschiebbarer Schirm wird nun wieder so angebracht, daß bei jeder Lage desselben der von ihm freigelassene Teil des einen Ausschnittes ebenso groß ist wie der von ihm gedeckte Teil des anderen.

Wird nun anfangs dieser Schirm so eingestellt, daß er den Ausschnitt, vor welchem sich die farbigen Gläser befinden, ganz frei läßt und den anderen ganz bedeckt, und verschiebt man ihn langsam so, daß ein immer größerer Teil des anfangs gedeckten Ausschnittes frei wird und farbloses Licht eintreten kann, so mischt sich dasselbe in entsprechend zunehmender Weise auf der weißen Papierscheibe dem farbigen Lichte bei, welches durch den anderen Ausschnitt auf die Scheibe fällt. So kann man jede auf letzterer erscheinende Farbe immer weißlicher machen und schließlich in reines Weiß überführen. Ebenso lassen sich alle Sättigungsgrade der Farbe dadurch herstellen, daß man nur die farbige oder nur die farblose Glastafel teilweise überdeckt.

Zur Herstellung von Weiß durch Mischung von zwei oder drei farbigen Lichtern stellt man in passender Entfernung vom Laden und in passender Höhe eine kleine mattweiße und ganz ebene Tafel auf, die von einem mattschwarzen Träger gehalten wird. Im Laden finden sich horizontal nebeneinander zwei gleichgroße Ausschnitte und vor jedem ein in vertikaler Richtung verschiebbarer Rahmen.

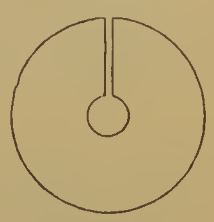
In den einen Rahmen werden nun z. B. zwei farbige Gläser gelegt, von denen man vermuten kann, daß sie annähernd komplementär sind, in den

zweiten Rahmen legt man einen Pappdeckel, welcher die eine Hälfte des Rahmens füllt, während die andere zunächst leer bleibt, und stellt diesen Rahmen so ein, daß der Pappdeckel den Ausschnitt vollständig verschließt.

Erscheint z. B. bei einem roten und grünen Glas in dem einen Ausschnitt kein reines Weiß auf dem Täfelchen, sondern ein Gelbweiß, so legt man in den zweiten Rahmen neben die Pappe ein blaues Glas und verschiebt ihn langsam so, daß das blaue Glas mehr und mehr vor den Ausschnitt tritt, bis das blaue Licht stark genug ist, um das Gelb vollständig zu vernichten.

In gleicher Weise wird aus Gelb und Blau in dem einen Ausschnitt und, wenn nötig, etwas Grün im zweiten wieder Weiß hergestellt.

δ. Farbenmischung mittels des Farbenkreisels. Hier werden besondere Scheiben aus dünnem Karton benutzt, welche je mit glanzlosem Papier von verschiedener Farbe überzogen (zu beziehen von Zimmermann in Leipzig) und mit einem bis zum Zentrum gehenden Schlitz versehen sind (Fig. 304), so daß sie zu zwei oder drei hintereinander gesteckt und gegeneinander geschoben werden können, und daß also von jeder Scheibe ein Sektor von einer bestimmten, an einer hinter den Farbenscheiben am Kreisel angebrachten Gradteilung ablesbaren Gradzahl sichtbar ist. Bei genügend schneller Umdrehung (20 pro Sekunde) addieren sich die verschiedenen Eindrücke im Sehorgan, und eine von den beiden Komponenten zusammengesetzte Mischfarbe entsteht.



Figur 304.
Scheibe zum Farbenkreisel.

Um die dabei erschienene Farbe richtig auffassen zu können, bringt man noch auf die Achse des Kreisels ein anderes Paar von Scheiben mit kleinerem Durchmesser; dieses Paar soll als Vergleichsfarbe dienen.

Da die Lichtstärke der verschiedenen farbigen Papiere verschieden ist und von einer vollkommenen Übereinstimmung der Farben der beiden Scheiben nicht die Rede sein kann, wenn nicht auch Sättigungsgrad und Helligkeit an beiden genau dieselben sind, muß man in vielen Fällen mittels eines schwarzen oder weißen Sektors die Helligkeit und den Sättigungsgrad der Farbe beeinflussen können.

Man verschafft sich also zwei Sätze von Scheiben, wie sie oben beschrieben sind, welche mit Papier von verschiedener Farbe inkl. Weiß und und Schwarz überzogen sind; der Durchmesser des einen Satzes sei 12 cm, der des anderen 6 cm.

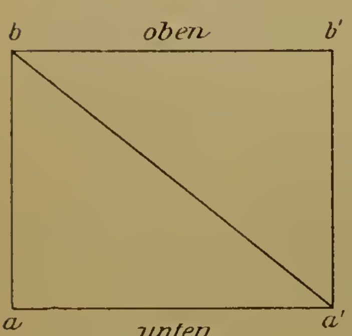
Damit das parazentrale Sehen die Resultate nicht beeinflusse, müssen die Versuche so ausgeführt werden, daß die Kreiselscheibe unter einem Gesichtswinkel von höchstens 2° gesehen wird.

Als Aufgaben für Bestimmungen über die Farbensummation mittels der Kreiselscheibe können z. B. folgende dienen, in welchen angegeben werden soll, wie viele Grade von den in jedem Membrum der betreffenden Gleichung

aufgenommenen Farben nötig sind, um eine Gleichheit der beiden Mischungen zu erzielen:

1) Rot + Grün + Violett = Schwarz + Weiß
2) Grün + Violett = Blau + Schwarz + Weiß
3) Rot + Violett + Schwarz = Purpur
4) Rot + Grün = Gelb + Weiß + Schwarz
5) Gelb + Blau = Schwarz + Weiß.

Um die Einwirkung einer allmählichen Veränderung der gegenseitigen Intensität zweier untereinander zu mischenden Farben zu untersuchen, klebt man auf einen Registrierzylinder zwei dreieckige farbige Papiere, z. B. ein blaues und ein rotes, und legt sie um den Zylinder, wie aus der Figur 305 ersichtlich ist; dann bekommt man bei der genügend schnell erfolgenden Umdrehung des Zylinders alle Mischungsabstufungen von reinem Rot bis zum reinen Blau nebeneinander und kann also die verschiedenen Nuancen von Purpur sehr schön demonstrieren. In derselben Weise kann man nicht allein jedes andere Farbenpaar, sondern auch Schwarz und Weiß behandeln und im letzten Falle alle Nuancen zwischen dem reinsten Weiß und dem dunkelsten Schwarz erhalten (Nagel).



Figur 305. Schema.

Da die mit Uhrwerk getriebenen Zylinder lange nicht so schnell gehen, wie hier nötig ist, werden zu diesem Versuche die allereinfachsten Registrierzylinder benutzt, welche durch einen Motor bewegt werden können.

D. Die Farbenblindheit.

1. Die Zefirgarnmethode von Holmgren. Im Anschluß an die Dreifarbentheorie hat Holmgren folgende Methode zur Entdeckung und Diagnose der Farbenblindheit entworfen.

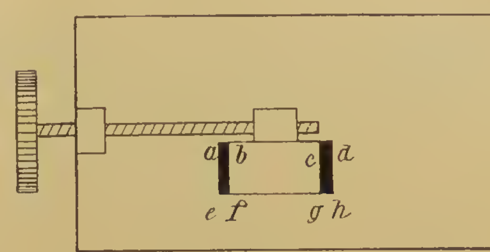
Man verschafft sich eine Auswahl Docken von Zefirgarn, welche Rot, Orange, Gelbgrün, Grün, Blaugrün, Blau, Violett, Purpur, Rosa, Braun und Grau enthält, und zwar in mehreren Nuancen der einzelnen Farben, und innerhalb jeder Nuance in mehreren Abstufungen von der dunkelsten bis zur hellsten. Insbesondere müssen Grün und Grau, jedes in mehreren Sorten, Rosa, Blau und Violett sowie blaßgrauliche Nuancen von Braun, Gelb, Rot und Rosa gut vertreten sein.

Der Untersucher soll aus dieser Sammlung eine Docke von der zu prüfenden Farbe entnehmen und die Versuchsperson auffordern, aus dem Vorrat diejenigen Docken zu nehmen, welche mit der Probe am nächsten übereinstimmen.

Die erste Probefarbe ist hellgrün. Wenn die Versuchsperson neben den hellgrünen Docken auch gelbe, rote, grüne Docken von etwa derselben

Helligkeit nimmt, ist sie farbenblind. Diejenige, die ohne eine wirkliche Verwechselung der Farben indessen bei dem Erkennen derselben schwankend ist, hat nach Holmgrens Terminologie schwachen Farbensinn.

Nun kommt die zweite Probefarbe, Purpur. Da Purpur eine Mischung von Rot und Violett ist, wird er von dem Rotblinden mit Blau und Violett, von dem Violettblinden mit Rot und Orange verwechselt. Der Grünblinde nimmt nebst Purpur Grün und Grau (da der Purpur beim Grünblinden die beiden noch vorhandenen lichtperzipierenden Elemente, Rot und Violett, reizt, hat er hier dieselbe Wirkung wie Grün und Grau und wird daher mit diesen verwechselt).

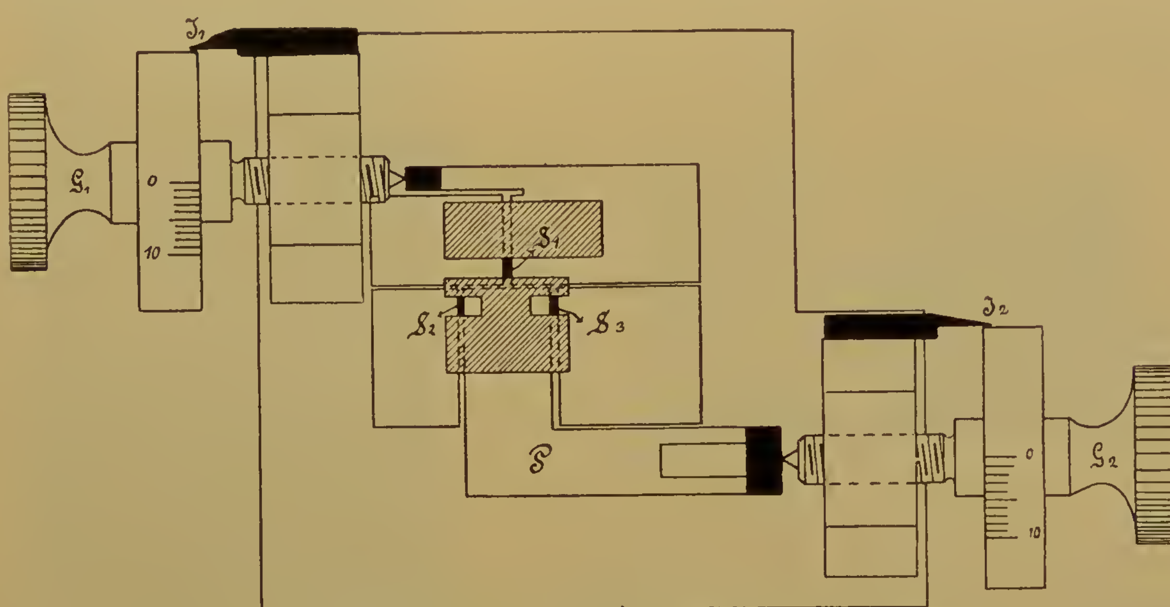


Figur 306. Doppelspalt für spektrale Farbenmischung, nach Donders.

Derjenige, der nach der 1. Probe farbenblind war, aber die 2. Probe gut ausführt, ist unvollständig farbenblind (anomaler Trichomat).

Bei der dritten Probe wird eine Docke von hellroter Farbe benutzt. Der Rotblinde wählt neben Rot Nuancen von Grün und Braun, die für den Normalsehenden dunkler als das Rote erscheinen; der Grünblinde aber Nuancen, welche heller erscheinen.

2. Das Spektroskop von Nagel. Einen kleinen, verhältnismäßig billigen Apparat zur Farbenmischung hat Nagel mit spezieller Rücksicht auf


Figur 307. Spaltvorrichtung am Farbenmischapparat, nach Nagel.

diagnostische Zwecke angegeben. Er dient dazu, ein binäres Gemisch zweier Lichter mit einem homogenen in Gleichung zu bringen. Die zu mischenden Lichter (Fig. 306) passieren durch je einen Spalt, *ab ef* und *cd gh*; mittels der Schraube links kann das Zwischenstück *bc fg* nach rechts oder links geschoben werden, und also der eine Spalt um ebensoviel verengt, als der andere erweitert werden.

Bei dem einfacheren Modell von NAGEL ist sowohl das Kollimatorrohr wie das Okularrohr in fester Verbindung mit dem Mittelteil des Instrumentes, das den geradsichtigen Prismenkörper enthält.

In dem kreisförmigen Gesichtsfelde ist die eine Feldhälfte stets vom Spalt S_1 (Fig. 307) aus mit dem Licht der Natriumlinie 598 $\mu\mu$ erfüllt, die Spalte S_2 und S_3 liefern das Licht der Lithiumlinie 670, bzw. der Thalliumlinie 535 $\mu\mu$. Da zwischen einem Gemisch dieser beiden Lichter und dem Natriumlicht in der Fovea jeder Beobachter eine vollständige Gleichung erzielen kann, kann man sehr leicht die 3 Typen der Trichromaten an ihren Einstellungen unterscheiden. Der Beobachter stellt das Mischungsverhältnis mit Hilfe des Schraubengriffes G_2 so ein, daß ihm die Mischung mit dem Natriumlicht gleichfarbig aussieht. Am Spalt S_1 stellt man gleichzeitig durch Drehen des Griffs G_1 die Helligkeit des Natriumlichtes so ein, daß wahre Gleichung entsteht.

Durch Anschläge ist dafür gesorgt, daß G_1 und G_2 nicht mehr als eine Umdrehung machen können. Bei der einen Anschlagstellung von G_2 ist S_2 geschlossen, S_3 ganz offen und das Licht in der zugehörigen Feldhälfte rein rot; am anderem Anschlag erhält man rein Grün. Man kann somit auch vom Dichromaten Gleichungen zwischen homogenem Gelb mit homogenem Rot oder Grün einstellen lassen.

Bei einem größeren Modell dieses Apparates ist das Okularrohr verstellbar, so daß die 3 Lichter gleichzeitig im selben Sinne im Spektrum verschoben und sämtliche Farben des Spektrums sichtbar gemacht werden können.

E. Die Kontrasterscheinungen.

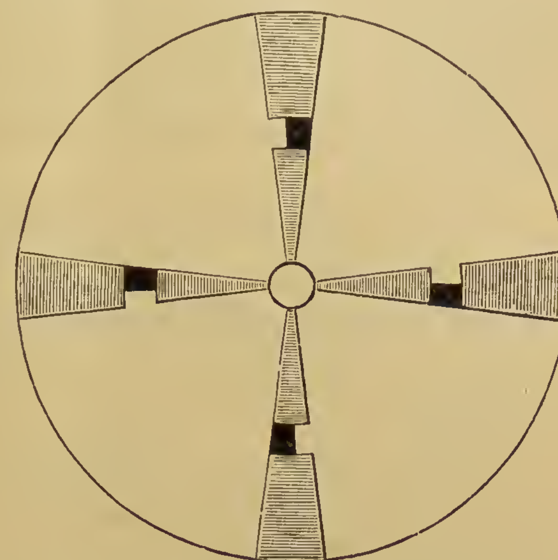
1. Man stellt zwei Glühlampen in etwa $1^1/_2$ m Entfernung voneinander und legt zwischen ihnen ein weißes Papier auf den Tisch. Auf das Papier stellt man ein Stativ, so daß wenigstens durch die eine Lampe ein deutlicher Schatten geworfen wird. Vor diese Lampe hält man nun gefärbte Gläser, welche natürlich dem Papier ihre Farbe verleihen. Der Schatten, zu dem kein von den Gläsern gefärbtes Licht gelangt, erscheint jetzt in der Komplementärfarbe des Grundes.

2. In den Strahlengang des Projektionsapparates stellt man eine farbige Glasscheibe, wodurch die gegenüberliegende Wand gefärbt wird; hält man nun vor diese einen undurchsichtigen Gegenstand, so nimmt er die komplementäre Farbe des Grundes an. Hierbei darf das Zimmer nicht vollständig verdunkelt werden, sondern soll mäßig hell sein.

3. Auf eine Kreiselscheibe klebt man (Fig. 308) vier schmale farbige Sektoren, unterbricht sie aber in der Mitte durch einen schwarzen Streifen. Bei der Rotierung der Scheibe wird der Grund natürlich farbig; da, wo die schwarzen Streifen sich befinden, erscheint aber statt eines grauen Ringes ein Ring von der komplementären Farbe des Grundes.

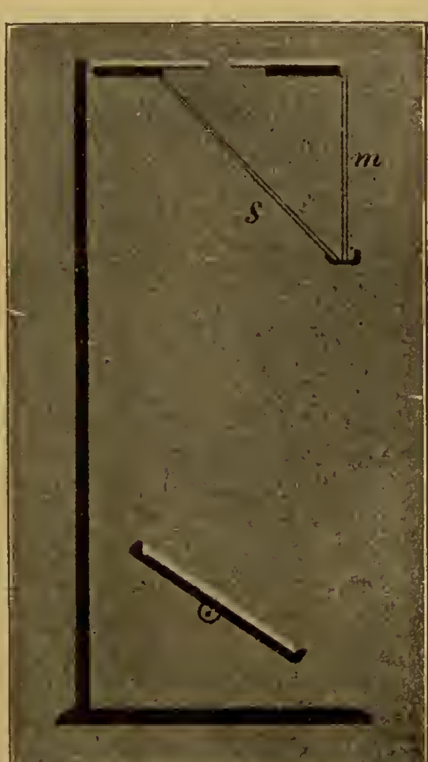
4. Auf farbige Papiere legt man Schnitzel aus schwarzem oder grauem Papier und überdeckt das Ganze mit dünnem, nicht farbigem Seidenpapier; die Schnitzel erscheinen dann in der Komplementärfarbe des Grundes.

5. Die oben (S. 355) beschriebene Methode von Hering zur Farbenmischung eignet sich auch sehr vortrefflich zu Versuchen über den farbigen Kontrast.



Figur 308. Kreiselscheibe zur Untersuchung des farbigen Kontrastes.

Stellt man in passende Entfernung vom Fenster einen größeren weißen vertikalen Schirm und vor ihn einen vertikalen Stab auf, und befindet sich vor dem einen (spaltförmigen) Ausschnitte farbiges, vor dem anderen farbloses Glas, so entstehen auf dem Schirme zwei parallele Schatten des Stabes, die je nach der Entfernung zwischen Stab und Schirm in mehr oder minder großem gegenseitigen Abstande auf dem Schirme liegen. Der eine erscheint in der gesättigten Farbe des farbigen Glases, der andere mehr oder weniger genau in der Gegen-(Komplementär-) farbe. Durch Verschieben des Rahmens mit dem farblosen Glase regelt man nun den Zutritt des farblosen Lichtes so weit, bis die Farbe des durch Kontrast gefärbten, objektiv farblosen Schattens die größtmöglichste Sättigung erlangt, was eben nur bei einer bestimmten Helligkeit derselben möglich ist.



Figur 309. Apparat zur Untersuchung des Helligkeitskontrastes, nach Hering.



Figur 310. Rahmen dazu.

6. In diesem Zusammenhange seien nach Hering noch folgende Versuche über den nicht gefärbten Kontrast erwähnt.

Ein offener, innen mattgeschwärzter Kasten von 60 cm Länge, 36 cm Breite und 24 cm Tiefe (Fig. 309) ist auf die eine kürzere Seitenwand gestellt. Die dabei nach oben liegende Wand ist durch einen Rahmen (Fig. 310) ersetzt, auf dem gewöhnlich ein halb mit mattschwarzem, halb

mit mattweißem Papier bedeckter steifer, auf seiner Unterseite geschwärzter Karton liegt. In der Nähe der Grenzlinie der schwarzen und der weißen Hälfte ist jederseits ein rundes Loch von etwa 12 mm Durchmesser geschlagen und zwar so, daß der Rand weder eingedrückt noch aufgeworfen ist.

Der Beobachter steht hinter dem Kasten und blickt von oben auf denselben herab.

Etwas unterhalb der Unterfläche des Kastens befindet sich in demselben rechts und links je eine, an einer horizontalen Achse befestigte Metallplatte, auf welche mit weißem oder grauem Papier überzogene Glastafeln aufgelegt werden. Ihr Abgleiten ist durch vorspringende Ränder der Metallplatte verhindert.

Die Metallplatten berühren sich fast in der Mitte des Kastens und können, wenn nötig, durch einen kleinen Riegel an der Unterfläche zusammengekoppelt werden.

Die Bewegung der Metallplatten wird durch je einen an den äußeren Wänden des Kastens befestigten Schnurlauf besorgt.

Die beiden Löcher werden also von unten her durch die an den Metallplatten liegenden Papiere beleuchtet.

Sind nun die beiden Metallplatten mit ganz gleichen, z. B. weißgrauen Papieren belegt, so erscheinen die beiden Löcher trotz der Gleichheit ihrer Lichtstärke verschieden, man kann sie aber gleich erscheinen machen, wenn man eine dementsprechende Veränderung in der Stellung der Metallplatten vornimmt.

Hat man die beiden Metallplatten in dieselbe Ebene gebracht und unter das Loch im Weiß ein hellgraues, unter das Loch im Schwarz ein dunkelgraues Papier aufgelegt, so können bei passender Wahl der Papiere die beiden Löcher ganz gleich erscheinen.

Die eine Hälfte der oberen Fläche bestehe aus weißem, die andere aus schwarzgrauem Papier, und den Löchern habe man durch passende Wahl und Lage der unteren Papierflächen eine beiderseits gleiche graue Farbe gegeben. Mindert man dann durch gleichmäßige Beschattung beider Hälften der oberen Fläche die Lichtstärken derselben in demselben Verhältnis, so erscheint nachher das Loch im Weiß heller als das Loch im Dunkelgrau.

Am Apparat kann ein unter 45° zum oberen Karton geneigtes Spiegelglas (Fig. 309, *S*) und vor dem obersten Teil der offenen Seite eine matte Glastafel *m* angebracht werden. Nach Anbringung derselben mindert man zunächst das durch das Mattglas eindringende Licht durch Vorsetzen eines passend ausgewählten Rauchglases von der Größe des Mattglases. Die obere Papierfläche sei zur einen Hälfte schwarz, zur anderen weiß. Gibt man nun den beiden Löchern durch passende Wahl und Lage der unteren Papiere eine beiderseits gleiche graue Farbe und hält dann von dem Mattglas alles Licht durch einen schwarzen Karton ab, so wird die Lichtstärke

beider Löcher um denselben Betrag vermindert. Nichtsdestoweniger erscheint nun das Loch im Schwarz dunkler als das Loch im Weiß. Macht man beide Löcher durch passende Drehung der dem Loch im Schwarz entsprechenden unteren Papierfläche wieder gleich und entfernt dann den das Mattglas deckenden Karton, so erhalten beide Löcher einen gleichgroßen Lichtzuwachs. Nun erscheint aber das Loch im Schwarz heller als das im Weiß.

F. Das Phänomen von Purkinje.

Zur Demonstration des Purkinjeschen Phänomens sind auf einem Brett zwei große Papierbogen von nicht glänzendem Papier befestigt, ein leuchtend roter und ein blauer. Das Brett ist in einem großen, gut verdunkelbaren Zimmer an der Wand angebracht und wird von einer Lampe beleuchtet, die nach der Zuschauerseite abgedeckt ist (die S. 345 beschriebene Vorrichtung ist hier sehr bequem). Bei voller Beleuchtung muß das Rot deutlich heller aussehen als das Blau. Wird nun die Beleuchtung durch Verminderung der Lichtstärke bedeutend herabgesetzt, so erscheint für den gut dunkeladaptierten Beobachter das Rot fast schwarz, das Blau hellbläulichgrau.

Das Fehlen des Phänomens in der Fovea centralis zeigt man, indem man das Licht so schwach macht, daß das Rot wesentlich dunkler als das Blau aussieht, aber noch deutlich farbig ist. Dann verdeckt man den größten Teil des Farbenfeldes durch einen schwarzen Vorhang, der nur in der Mitte ein Loch hat, das für den Zuschauer einen Gesichtswinkel von 2° zeigt und zur Hälfte auf das Rot, zur Hälfte aufs Blau fällt. Fixiert man dieses kleine Feld, so erscheint das Rot heller als das Blau.

Auch kann man den Purkinjeschen Versuch so machen, daß man auf die schwarze Tafel Stückchen aus rotem und blauem Papier klebt und die Zuschauer auffordert, das rote oder das blaue Papier zu fixieren. Bei der Fixation des blauen Papiers verschwindet, von einer gewissen Stärke der Belichtung an, das rote Papier vollständig, während bei Fixation des roten Papiers das blaue Papier aufleuchtet. Von einer gewissen Stärke der Belichtung an verschwindet das blaue Papier bei der Fixierung vollständig.

IV. Die Augenbewegungen und die Gesichtswahrnehmungen.

A. Allgemeines zur Methodik.

1. Die Fixierung des Kopfes.

Um den Kopf bei den Untersuchungen über die Augenbewegungen usw. in einer bestimmten Lage fixieren zu können, benutzt man 1. Stirnhalter, d. h. bogenförmig gekrümmte Platten, die von einem Stativ getragen werden

und gegen welche die Stirn angelegt wird; 2. Kinnhalter, welche Stütze für das Kinn bieten und außerdem noch einen Stab tragen, gegen dessen oberes Ende der untere Orbitalrand gedrückt wird; 3. Beißbrettchen. Dazu verwendet man ein flaches, zwischen den Zahnreihen passendes Bogenstück aus Holz oder dickem Zinkblech, das mittels eines flachen Fortsatzes an einem Stativ befestigt wird. Das Bogenstück wird oben und unten dick mit warmem Siegellack oder besser mit in warmem Wasser erweichter Stentmasse der Zahnärzte überzogen. Dann beißt die Versuchsperson möglichst symmetrisch unter Kontrolle vor dem Spiegel oder durch eine andere Person in die weiche Masse ein und läßt sie erkalten. Das Beißbrettchen wird dann mit dem Fortsatz am Stativ festgesetzt. Sobald man in den früheren Abdruck der Zahnreihe hineinbeißt, ist der Kopf mit hinreichender Genauigkeit fixiert.

Um bei den hierhergehörigen Beobachtungen den Einfluß der Nebenreizungen auszuschließen, benutzt man ein kurzes Rohr aus mattschwarzer Pappe, dessen Durchmesser so groß ist, daß der Beobachter sein ganzes Gesicht hineinstecken kann. Das Rohr wird in passender Höhe in einem Halter befestigt, der aus einem am Tische angeschraubten Holzbrett mit kreisförmigem Ausschnitt improvisiert werden kann, in welchen die Röhre hineingesteckt wird. Man mache die Röhre so kurz als möglich, am besten aus zwei ausziehbaren Stücken, so daß die Konturen ihres distalen Endes bei Betrachtung der Gegenstände in der Mitte des Gesichtsfeldes auf recht peripheren Netzhautstellen abgebildet werden. Am proximalen Ende besitzt die Röhre zweckmäßig zwei seitlich vorspringende Lappen, welche die Schläfen decken. Zur Sicherheit kann man noch ein Tuch über den Kopf schlagen (Hering).

2. Die Primärstellung der Augen.

Bei allen näheren Untersuchungen über die Bewegungen des Auges geht man von der Primärstellung aus. Obgleich nicht die Rede davon sein kann, die so komplizierten Versuche über die Augenbewegungen in ihrer ganzen Schärfe in das Praktikum aufzunehmen, da hierzu eine viel zu große Zeit verwendet werden müßte, finde ich es dennoch angezeigt, nach Hering die Art und Weise, wie man die Augen in die Primärstellung bringt, hier zu erwähnen, weil dies ja den Ausgangspunkt für vielerlei Untersuchungen darstellt und es ab und zu vorkommen kann, daß ein hierher gehöriger Versuch auch im Praktikum ausgeführt wird.

Auf einer möglichst großen und entfernten Wand werden im Kreuz ein horizontales und vertikales, etwa $1\,^1/_2$ cm breites, gut abstechendes, z. B. rotes Band ausgespannt. Auf der Mitte der Durchkreuzungsstelle wird als Fixationspunkt eine schwarze Marke angebracht. Parallel der Schenkel des Kreuzes sind auf der Wand in einer Entfernung von je 10 cm eine Anzahl schwarzer Schnuren gespannt oder Linien gezogen, so daß sie ein rechtwinkliges Gitter bilden. Die Versuchsperson setzt sich vor dieser Wand

so hin, daß sich die Fixationsmarke in gleicher Höhe mit den Augen und ungefähr in der Medianebene des Kopfes befindet. Der Kopf wird in aufrechter Stellung, das Gesicht parallel zur Wand durch einen Kopfhalter fixiert. Hierauf erzeugt man sich durch anhaltende Fixation des Kreuzes in einem Auge ein dauerhaftes Nachbild desselben und läßt dann, ohne den Kopf zu verrücken, den Blick dieses Auges, während das andere geschlossen ist, langsam dem horizontalen Bande entlang nach rechts und links gehen. Dabei wandert das Nachbild des vertikalen Schenkels über die Wand und erscheint immer parallel zu den schwarzen Vertikallinien, falls das Auge sich während der Fixierung der Marke wirklich in der Primärstellung befunden hat. Das Nachbild des horizontalen Schenkels fällt in diesem Falle natürlich mit der horizontalen Linie zusammen.

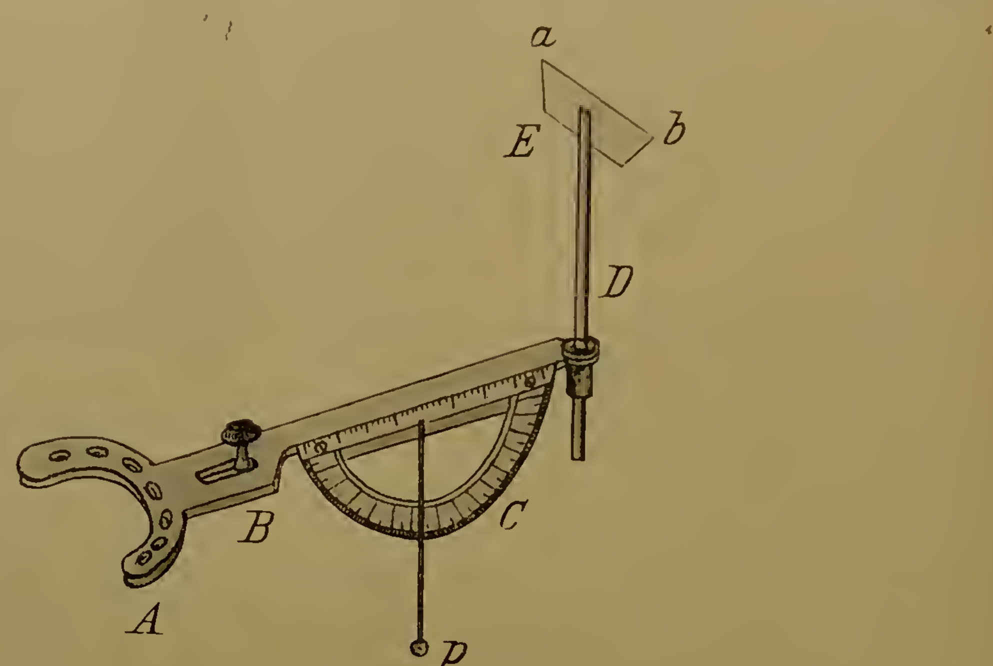
Frischt man dann das Nachbild durch Fixation der Marke wieder auf, und läßt man den Blick auf dem mittleren vertikalen Bande auf und ab gleiten, so erscheint das Nachbild des horizontalen Schenkels immer parallel den horizontalen Linien, falls die Anfangsstellung wirklich die Primärstellung war. War dies nicht der Fall, so bleibt bei Rechts- und Linkswendung des Blickes das Nachbild des vertikalen Bandes nicht parallel zu den vertikalen Linien, und das des horizontalen Bandes erscheint als ein das rote Band im jeweiligen Fixationspunkte unter sehr spitzem Winkel schneidender grüner Strich; in diesem Falle muß man den Kopf etwas vor- oder zurückneigen, bis man die richtige Stellung gefunden hat. Ist dies geschehen, und läßt man nun den Blick am vertikalen Bande herauf- oder heruntergehen, und es erscheint jetzt das Nachbild des horizontalen Bandes nicht parallel mit den horizontalen Linien und wird das des vertikalen als ein gegen dasselbe etwas verdrehter grüner Strich gesehen, so muß man den Kopf ein wenig nach rechts oder links um seine vertikale Achse drehen, bis die richtige Stellung gefunden ist. Gelingt endlich der Versuch nach beiden Richtungen, so ist die Gesichtslinie in der Primärstellung.

Darauf wiederholt man den Versuch mit dem anderen Auge, und er wird, wenn der Kopf eine gerade Haltung hat, und wenn die Wand nicht zu nahe ist, so daß man die geringe Konvergenz der Gesichtslinien vernachlässigen kann, sogleich auch mit diesem Auge gelingen. Da sich überdies die Fixationsmarke in Augenhöhe befindet, die Blicklinien also in der Horizontale liegen, so hat man zugleich auch die Primärstellung des Kopfes bestimmt.

Um nun Kopf und Augen in einem folgenden Versuch leicht und sicher wieder in ihre Primärstellung bringen zu können, nimmt man während ihrer Bestimmung ein Visierzeichen in den Mund (Fig. 311). An dem Beißbrettchen *A*, dessen Stiel *B* natürlich je nach der gewünschten Befestigung verschieden gestaltet werden kann, ist ein Metalltransporteur *C* angebracht, an dessen Teilung ein Pendel *p* spielt, welches die der Primärstellung des Kopfes entsprechende Neigung des Beißbrettchens wiederzufinden gestattet. Ein trapezförmiger, im Schlitze eines nach der Höhe verstellbaren Metall-

stabes D verschieblicher Kartonstreifen E wird so zurecht geschnitten und verschoben, daß beim Visieren nach der Fixationsmarke in der Primärstellung der Augen die Ecke a in der Visierlinie des linken, die Ecke b in der des rechten Auges liegt.

Natürlich kann man sich das Beißbrettchen, das man in einem Halter um eine horizontal-frontale Achse drehbar befestigt, schon zur Fixation des



Figur 311. Visierzeichen, nach Hering.

Kopfes während der Aufsuchung der Primärstellung bedienen. Man sucht, wie oben, die Primärstellung auf, und liest dann die Neigung ab und stellt die Visiermarke richtig ein. Man hat nur darauf zu achten, daß sich die Augen bei der Vor- und Rückwärtsneigung des Kopfes nicht wesentlich aus der Horizontalebene der Fixationsmarke entfernen.

B. Die Korrespondenz der Netzhäute.

Um die Korrespondenz der Netzhäute in einem einfachen Falle zu studieren, bringt man an Wheatstones Stereoskop (Fig. 313, S. 369) zwei weiße, runde Scheiben an, welche an je eine Achse befestigt sind und durch einen Handgriff von außen gedreht werden können. Jede Scheibe trägt einen von ihrer Mitte ausgehenden Radius, und die augenblickliche Lage dieser Radien läßt sich an einer, hinter jeder Scheibe unverrückbar an der Seitenwand des Stereoskopes befestigten Gradscheibe ablesen.

Man sucht nun die Stellung der beiden Scheiben auf, bei welcher die beiden Radien bei binokularem Sehen als eine vertikale, ungebrochene Linie erscheinen, und liest die dabei eventuell auftretende Abweichung der Radien von der streng senkrechten Lage an der Gradscheibe ab.

Dann wiederholt man den Versuch in der Weise, daß die beiden Radien dem horizontalen Meridian entsprechen.

Auch kann man zu diesem Zwecke ein doppeltes Fernrohr von etwa 75 cm Länge benutzen. Die beiden Röhren, aus welchen das Fernrohr zusammengesetzt ist, sind um ein Charniergelenk drehbar. Das Okular des Fernrohrs soll die Augen auf die Entfernung von 75 cm einstellen und besteht einfach aus einer Linse aus dem Brillenkasten; es wird in einen Schlitz an dem einen Ende des Fernrohrs eingesteckt. Das andere Ende der beiden Röhren trägt je ein Mattglas, welches mit einem Radius versehen ist. Die beiden Mattgläser sind genau zentriert und können mittels der Hand um ihr Zentrum gedreht werden.

Beim Versuch richtet man das Fernrohr gegen eine helle Fläche und stellt es durch Drehen im Charniergelenk so ein, daß die beiden Radien eine zusammenhängende ungebrochene vertikale Linie bilden. Vor dem Versuch müssen die Mattgläser so gestellt werden, daß die Radien etwa in die Lotlinie fallen; dann genügt eine ganz kleine Drehung der Fernröhre zur richtigen Einstellung.

Für genauere Untersuchungen der Korrespondenz der Netzhäute und der daran sich anschließenden Fragen sind kompliziertere Versuchsweisen nötig, die indessen nicht in das Praktikum gehören.

C. Das Blickfeld.

Als Blickfeld bezeichnet man die Summe aller in einer gegen die Sehachse vertikalen Ebene befindlichen Punkte, welche mit einem Auge (monokulares Blickfeld) oder den beiden Augen (binokulares Blickfeld) fixiert werden können.

Bei der Untersuchung des Blickfeldes stellt man in etwa 20 cm Entfernung vor die Augen senkrecht gegen die Gesichtslinien eine Fensterglasscheibe von 50×50 cm auf und blickt durch sie gegen die gegenüberliegende Wand, nachdem man die Augen in die Primärstellung gebracht hat. Als Fixationsmarke benutzt man, bei orientierenden Versuchen wenigstens, den Glühfaden einer durchsichtigen Glühlampe und merkt mittels etwas Fett, das man an einen Finger geklebt hat, die Schnittpunkte der Gesichtslinien mit der Glasscheibe aus. Dann schließt man das eine Auge, ruft in dem anderen Auge durch Fixieren der Lampe ein lebhaftes Nachbild des Glühfadens hervor und führt den Blick in verschiedenen Meridianen möglichst weit nach der Peripherie hin.

An den dabei erreichten Grenzpunkten macht man mit dem Fett auf die Glasscheibe ein Zeichen und verbindet schließlich alle diese direkt bestimmten Punkte miteinander. Das solcher Art gewonnene, umschriebene Feld stellt die Projektion des Blickfeldes des untersuchenden Auges in der Entfernung von 20 cm dar.

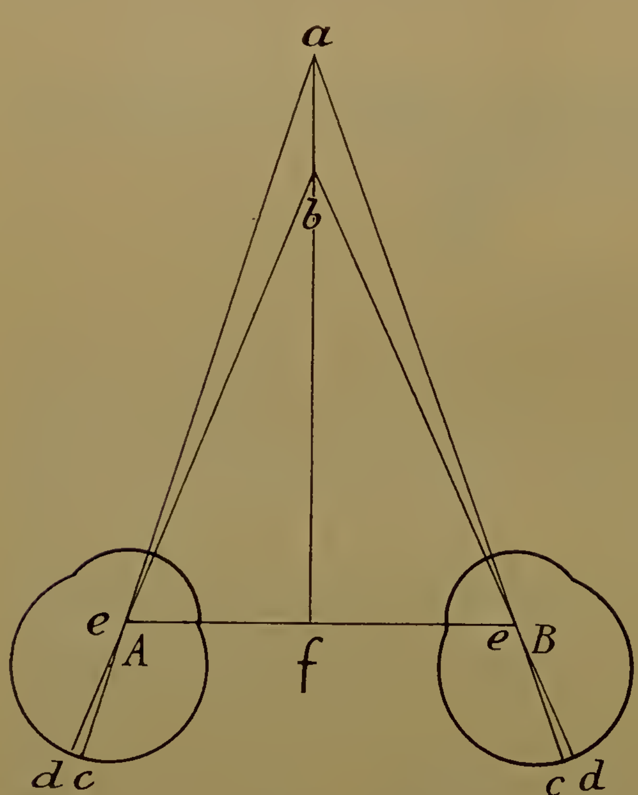
In ganz derselben Weise zeichnet man das Blickfeld des anderen Auges auf und wiederholt schließlich den Versuch mit beiden Augen, indem man

den Glühfaden mit den beiden Augen fixiert und nun prüft, wie weit es, bei beibehaltener binokularer Fixation, möglich ist, in verschiedenen Meridianen den Blick nach der Peripherie hin zu führen. Man wird hierbei finden, daß das binokulare Gesichtsfeld viel kleiner ist als der Teil der monokularen Blickfelder, der bei einäugiger Fixation den beiden Augen gemeinsam ist.

D. Die Tiefenwahrnehmungen.

1. Der Dreistabversuch.

In einem innen schwarzen Kasten stellt man drei Metallstäbe nebeneinander und beleuchtet sie von oben, so daß keine Schatten auf die Hinterwand des Kastens fallen. Die vordere Wand des Kastens ist nur in ihrer Mitte offen, der Zuschauer kann daher die Mitte der Stäbe, nicht aber ihre oberen und unteren Enden sehen. Jeder der drei Stäbe ist längs einem prismatischen Stück in der Richtung von vorn nach hinten beweglich. Die Größe der Verschiebung wird mittels einer Papierskala bestimmt.



Figur 312. Schema.

Man untersucht nun, wieviel z. B. der mittlere Stab nach vorn oder nach hinten verschoben werden soll, um eine deutlich wahrnehmbare Verschiebung in bezug auf die übrigen zu erleiden, und überzeugt sich ferner davon, daß beim Sehen mit einem Auge eine noch viel größere Verschiebung gar nicht wahrgenommen werden kann. Während der Verschiebung selbst soll die Versuchsperson die Augen schließen.

Die Größe der Verschiebungen der Netzhautbilder wird folgendermaßen in Graden gemessen (Fig. 312).

Die Entfernung des Apparates vom Auge *fb* sei 5 m und die Entfernung zwischen den beiden Pupillen *ee* 7 cm. Der Winkel *dbf* zwischen der Gesichtslinie *bd* und dem Medianplan *bf* ist also Arc. Tang. 3.5/500. Bei der Verschiebung des mittleren Stabes um x cm (von *b* bis *a*) ist der Winkel *caf* Arc. Tang. $3.5/(500+x)$, und die Differenz zwischen diesen Winkeln, d. h. der Winkel $aeb = dec$ stellt die Veränderung der Lage des Bildes auf der Netzhaut dar.

Übrigens kann man entsprechende, wenn auch nicht quantitativ messende Versuche über die Bedeutung des Sehens mit zwei Augen für die Beurteilung der sagittalen Verschiebung an jedem Gegenstand machen, wo durch die Verteilung des Lichtes und des Schattens dem einzelnen Auge keine Anhaltspunkte für die Beurteilung der sagittalen Dimensionen gegeben sind. Insbesondere eignen sich hierzu im Freien Bäume und im Zimmer Pflanzen. Wenn man sie zuerst mit dem einen Auge betrachtet und dann plötzlich das andere Auge öffnet, hat man einen packenden Eindruck, wie wenn die Blätter und Äste aus dem Gewirr hervorspringen und sich hervorstrecken sollten.

2. Versuch mit einem schiefen Faden.

Man spannt einen Faden von 3—4 m Länge im Zimmer schief auf und läßt den Zuschauer in gehöriger Entfernung vom Faden, aber in dessen Ebene Platz nehmen. Er soll dabei ein in der Mitte des Fadens angebrachtes Fixierzeichen, z. B. einen Knoten, fixieren können.

Ohne weiteres beurteilt er beim Sehen mit 2 Augen die Lage des Fadens ganz richtig; mit einem Auge betrachtet, erscheint der Faden als ein Strick auf der gegenüberliegenden Wand.

Bei sehr genauem Fixieren mit zwei Augen tritt mit einem Mal eine Veränderung ein: man sieht den Faden doppelt, im Fixierpunkte gekreuzt und die beiden einander kreuzenden Fäden auf der gegenüberliegenden Wand projiziert.

3. Das Stereoskop.

Die sub 2 und 3 aufgenommenen Versuche stellen das stereoskopische Sehen in sehr einfacher Form dar.

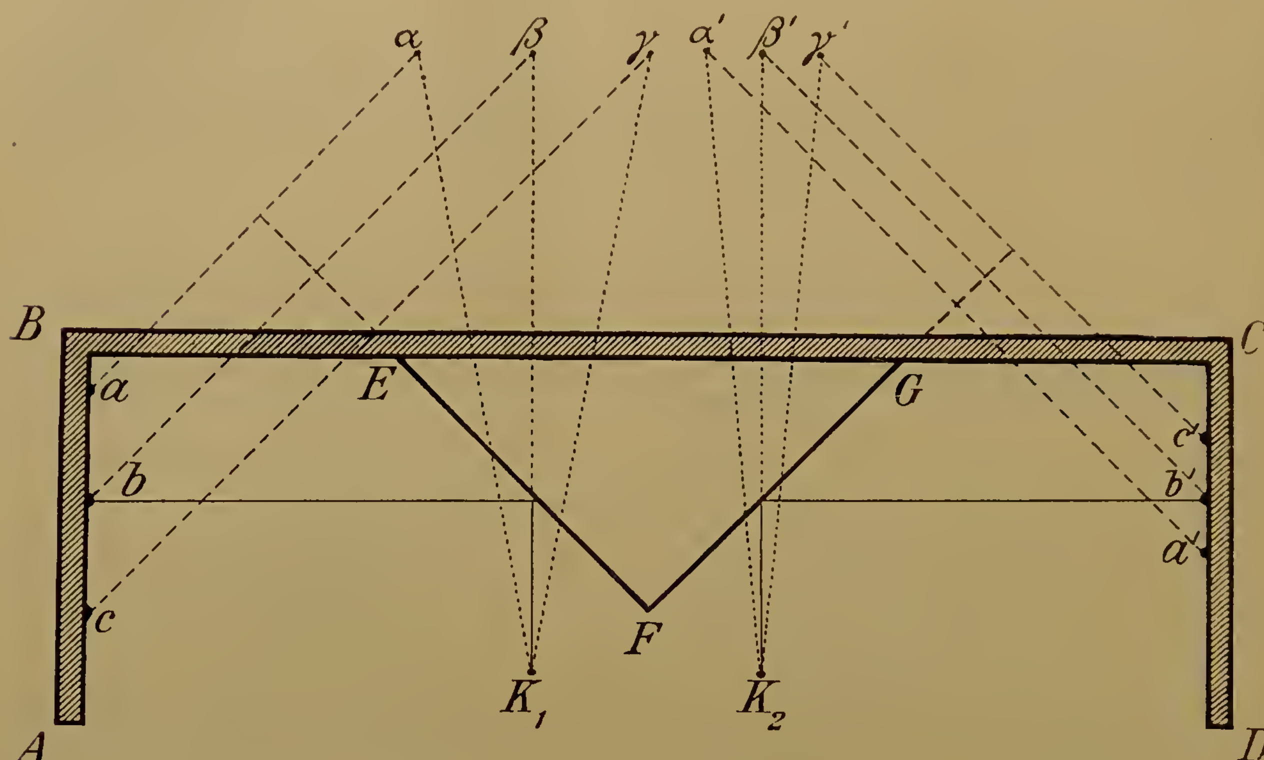
Um dasselbe näher zu studieren, benutzt man besondere Instrumente, Stereoskope, unter denen das Spiegelstereoskop von Wheatstone bei physiologisch-optischen Untersuchungen die erste Stelle einnimmt.

Wie aus dem Querschnitt Figur 313 ersichtlich, besteht dieses Instrument aus zwei in rechtem Winkel gegeneinander stehenden Planspiegeln *FE*, *FG*, welche die auf die Wände *AB* und *CD* befindlichen Bilder spiegeln und ihnen die scheinbare Lage $\alpha\beta\gamma$ bzw. $\alpha'\beta'\gamma'$ erteilen, wobei jedes Bild nur von dem einen Auge gesehen wird.

Mit dem Stereoskop können überaus zahlreiche Versuche ausgeführt werden, welche indessen hier keine weitere Erläuterung nötig haben.

Um nachzuweisen, daß das stereoskopische Sehen nicht von den Bewegungen der Augen bedingt wird, genügt ein einfacher Versuch. Man blickt in einem dunklen Zimmer in ein Stereoskop und läßt eine elektrische Lampe momentan aufleuchten: trotz der äußerst kurzdauernden Belichtung bekommt man von den Bildern den gewöhnlichen körperlichen Eindruck.

Es ist sehr nützlich, sich im Stereoskopieren ohne Stereoskop zu üben. Zu diesem Zwecke fängt man mit ganz einfachen Figuren an und stellt die Gesichtslinien auf je eins der Bilder ein, wobei man im Medianplan zwischen den Augen einen kleinen Schirm hält. Als Objekt zeichnet man auf ein Papier zwei Kreuze in etwa 6—7 cm Entfernung und zwar so, daß die



Figur 313. Wheatstones Spiegelstereoskop.

horizontalen und vertikalen Schenkel der beiden Kreuze ihrer Richtung nach nicht vollständig zusammenfallen. Durch seitliche und sagittale Verschiebungen des Papiers bringt man die Bilder in die richtige Lage, bis man das plastische stereoskopische Bild sieht. Nach einiger Übung gelingt der Versuch auch ohne den zwischen den Augen gehaltenen Schirm.

4. Augenstellung und Größenschätzung.

a. Wenn man einen Stuhl mit Rohrsitz vor sich hält, mit den beiden Augen durch das Netz blickt und dabei die Augen auf eine Bleistiftspitze in der Nahepunktentfernung einstellt, so erscheinen die Maschen klein und nahe dem Auge gelegen. Fixiert man aber das Fenster, so erscheinen die Maschen groß und entfernt.

b. Am deutlichsten läßt sich diese Einwirkung der Augenstellungen auf die scheinbare Größe des Bildes bei den Nachbildern nachweisen. Man fixiert eine halbe Minute eine Glühlampe in etwa $1\frac{1}{2}$ m Entfernung: richtet man nun den Blick auf eine entfernte Wand oder auf die Decke des Zimmers, so erblickt man ein stark vergrößertes Nachbild der Lampe. Projiziert man dagegen das Nachbild auf eine Karte, die man möglichst nahe dem Auge hält, so daß die Konvergenz zwischen den Gesichtslinien

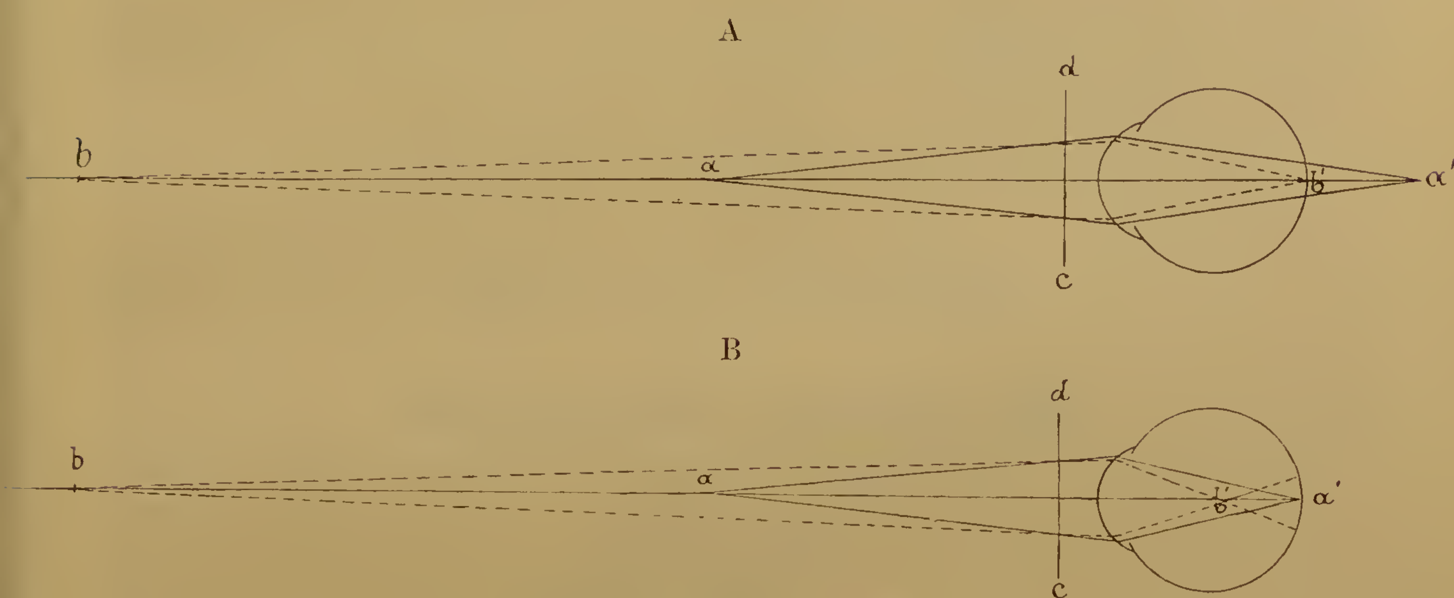
maximal wird, so wird die scheinbare Größe des Nachbildes außerordentlich verkleinert.

Besonders schön ist dieser Nachbildversuch, wenn man als Objekt die sinkende Sonne benutzt.

E. Der Scheinersche Versuch.

1. In sehr auffallender Weise läßt sich die Tatsache, daß wir die Retinalbilder ungekehrt projizieren, durch den Scheinerschen Versuch nachweisen.

Vor einen hellen Hintergrund stellt man auf einem Maßstab zwei Nadeln hinter einander, die eine in etwa 18, die andere in 60 cm Entfernung, die eine horizontal, die andere vertikal. Sodann schließe man das eine Auge



Figur 314. Scheiners Versuch.

und halte vor das andere eine kleine Karte, in welche zwei Löcher, deren Entfernung kleiner ist als der Durchmesser der Pupille, gestochen sind. Akkomodiert man für die eine Nadel, so erscheint die andere doppelt. Hierbei muß man natürlich die Karte so halten, daß die Löcher quer gegen die Richtung der doppelt erscheinenden Nadel gestellt sind.

Fixiert man die entferntere Nadel *b*, Figur 314 A, so fällt das Bild des näheren *a* nach *a'*. Da nur je ein ganz dünnes Strahlenbündel durch die Löcher der Karte in das Auge dringen kann, so entstehen, wie aus der Figur ersichtlich, von dieser Nadel *a* zwei Bilder auf der Netzhaut. In derselben Weise entstehen bei Akkommodation für die nähere Nadel *a* Doppelbilder der entfernteren *b* (Fig. 314 B). Wenn man im letztern Falle das eine Loch in der Karte *c* zudeckt, so verschwindet das gleichseitige Doppelbild, d. h. das oberhalb *a'* auf die Netzhaut fallende Bild wird etwa in der Richtung *b' c* nach außen projiziert. Wird aber im ersten Falle dasselbe Loch *c* zugedeckt, so verschwindet das entgegengesetzte Doppelbild:

das unterhalb *b'* fallende Bild wird also nicht in der Richtung nach *c*, sondern etwa in der Richtung nach *d* nach außen projiziert.

2. Auch mittels eines Koboltglases und der davon bedingten Farbenzerstreuung läßt sich diese Tatsache und zwar noch leichter nachweisen.

Wenn man vor das Auge ein solches Glas hält und gegen eine Glühlampe mit Kohlenfaden blickt, so ist, je nachdem das Auge für Rot oder Blau eingestellt ist, der Glühfaden rot mit blauer Umgebung oder blau mit roter Umgebung. Schiebt man von der Seite her einen Karton vor die Lampe, so verschwindet entweder der gleichseitige oder der entgegengesetzte Rand, der erstere, wenn das Auge für die schwächer brechbaren roten Strahlen, der andere, wenn es für die stärker brechbaren blauen Strahlen eingestellt ist. Wenn es der Versuchsperson nicht gelingt, willkürlich ihr Auge für Rot oder Blau einzustellen, so kann man durch eine vor das Auge gehaltene Linse den Umschlag leicht bewirken. Ist das Auge für Rot eingestellt, so wird das Auge durch eine konkave Linse für das Blau eingestellt und umgekehrt.

NEUNZEHNTES KAPITEL.

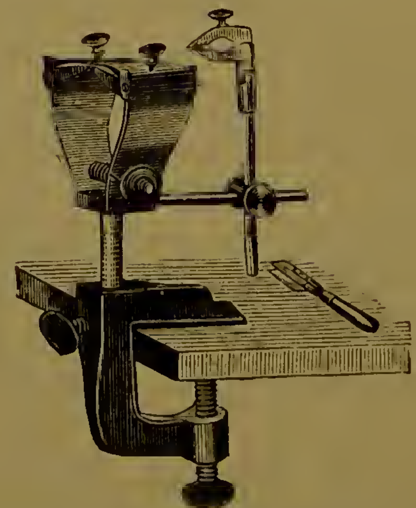
Das zentrale Nervensystem.

I. Der Frosch.

A. Das Rückenmark.

1. Eröffnung des Rückgratkanals.

Für diese Operation hat Ludwig folgende Vorrichtung angegeben. Die Querfortsätze der Wirbel des etwa mit Äther narkotisierten Frosches werden zwischen die Branchen der in Figur 315 abgebildeten Klemmen ge-



Figur 315. Apparat zur Befestigung des Frosches bei Operationen am Rückenmark, nach Ludwig.

faßt und die letzteren mittels der Schraube in geeignetem Grade einander genähert.

Man schneidet dann die Haut in der Mittellinie durch und exstirpiert die Rückenmuskeln mit einer gekrümmten Schere. Mit einer sehr feinen Säge sägt man dann die Wirbelbogen durch und hebt sie vom Rückgrat ab. Betupfen der Wunde zur Blutstillung mit kleinsten, in der Pinzette gehaltenen Schwammstückchen.

2. Das Gesetz von Magendie.

Nach Eröffnung des Rückgrats sieht man die zarten hinteren Rückenmarkswurzeln frei liegen; wenn man sie etwas beiseite schiebt, kommen auch die vorderen Wurzeln zum Vorschein. Man bindet mit einem sehr feinen Faden eine Hinterwurzel in der Mitte ab und behält den Faden als Handgriff. Legt man nun äußerst feine Platinelektroden auf den Nerven peripher von der Ligatur an und reizt den Nerven mit frequenten Induktionsströmen, so tritt keine sichtbare Wirkung auf. Die Reizung des Nerven zentral von der Ligatur bewirkt dagegen kräftige Reflexbewegungen.

Nun schneidet man die Hinterwurzeln auf der einen Seite des Rückenmarkes durch, so daß die vorderen Wurzeln leicht zugänglich sind, und bindet zwei solche ab, die eine möglichst nahe dem Rückenmark, die andere so weit davon wie möglich. Die Reizung der ersteren peripher vom Rückenmark gibt starke Muskelkontraktionen; bei der Reizung der zweiten zentral von der Ligatur tritt keine motorische Wirkung auf.

3. Rückenmarksreflexe.

a) Durchschneidung des Rückenmarkes.

Um beim Frosch das Rückenmark vom Gehirn abzutrennen, braucht man im akuten Versuch nur den Kopf des Tieres abzuschneiden, indem man das eine Blatt einer Schere in die Mundhöhle einführt und den Schädel möglichst weit nach hinten durchtrennt. Das Gehirn wird mittels einer in die Schädelhöhle eingeführten Nadel zerstört.

Am zurückgebliebenen Unterkiefer befestigt man eine Arterienpinzette (Fig. 10) und hängt das Präparat an einem Stativ auf.

b) Rückenmarksreflexe.

α. An einem solchen Präparat bringt man auf verschiedene Stellen des Hinterkörpers ein Tröpfchen 0.2 prozentiger Schwefelsäure oder Essigsäure und kann dann beobachten, wie das Tier durch die eine oder andere, aber immer zweckmäßige Bewegung das Tröpfchen abwischt oder abzuwischen sucht. In dieser Hinsicht sind z. B. folgende Hautstellen zu prüfen: Spitze

der Zehen des Hinterfußes, Kniegelenk, After, Mitte des Rückens, Mitte des Bauches.

Nach jeder Reizung taucht man den Hinterkörper des Tieres in ein Gefäß mit Wasser, um die Säure wegzuwaschen.

β. Bei mechanischer Reizung durch Kneifen des einen, z. B. des rechten Fußes, wird das rechte Bein flektiert und gegen den Bauch gezogen; dauert diese Bewegung etwas länger, so kann man durch Reizung des anderen Beines nachweisen, daß diese die Kontraktion der Beuger des entgegengesetzten Beines aufhebt.

γ. Um Reflexe durch Reizung mit Induktionsströmen hervorzurufen, hängt man den geköpften Frosch, wie schon beschrieben, an ein Stativ; an demselben Stativ befestigt man ein Brettchen, welches zwei Klemmschrauben trägt. In diesem enden die Leitungsdrähte von einem Induktionsapparat, und von ihnen gehen sehr dünne spiralig gewundene Kupferdrähte zu dem einen Bein des Frosches und werden mit ihren von der Umspinnung befreiten Enden in einem Abstand von 2—3 mm voneinander um das Fußgelenk gewickelt. Wenn die Drähte genügend fein sind, wird die Extremität in ihren Bewegungen von ihnen so gut wie gar nicht behindert.

An einem solchen Präparat kann man untersuchen, wie sich die Reflexe bei einzelner und bei tetanischer Reizung verhalten, ferner wie sich die reflektorische Erregung bei stärkerer Reizung über immer größere Muskelmassen erstreckt und von der gereizten Extremität schließlich über alle vier Extremitäten ausbreitet. Hierbei soll man genau die Reihenfolge aufzeichnen, in welcher die verschiedenen Körperteile in Tätigkeit treten.

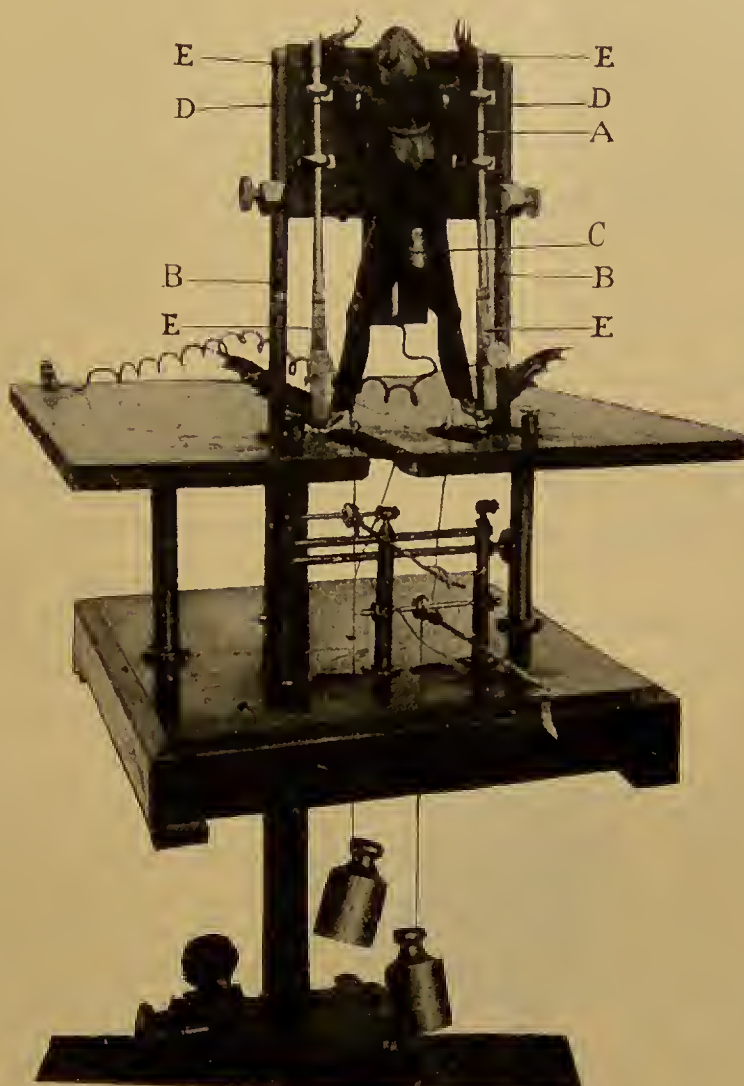
Wenn man mit einem sehr schwachen Strom anfängt, kann man ohne Anwendung irgendwelcher zeitmessender Methoden mit den bloßen Augen sehen, daß eine gar nicht kurze Zeit zwischen dem Beginn der Reizung und dem der Muskelzuckung verstreicht.

Bei ununterbrochener Reizung mit nicht allzu starken Reizen treten zuerst ganz kleine Kontraktionen, die besser als Zitterungen zu bezeichnen wären, auf; plötzlich erscheint dann eine starke Zuckung, und nach dieser bleibt der Muskel eine Zeitlang ruhend, bis eine neue große Zuckung wieder auftritt usw.

δ. Entsprechende Versuche lassen sich auch mit schwacher chemischer Reizung ausführen. Man taucht eine Zehe in ein Gefäß mit 0.1 prozentiger Schwefelsäure und beobachtet die infolge davon auftretenden Kontraktionen, deren Latenzdauer und Stärke.

ε. Will man die Reflexvorgänge graphisch registrieren, so hängt man den geköpften Frosch im folgenden Apparat auf (Fig. 316).

A ist eine auf zwei Metallstangen (*B, B*) bewegliche Ebonitscheibe. In der Mitte ihres unteren Teiles ist ein sattelförmiges Metallstück (*C*) angebracht, das um etwa 2 bis 3 cm in vertikaler Richtung verschiebbar ist. Zur Befestigung der Arme des Frosches findet sich je links und rechts im oberen Teil der Scheibe *A* ein schraubbarer Haken (*D, D*). Die Fußteile



Figur 316. Froschstativ, nach Taskinen.

des Tieres werden mittels der beiden beweglichen Schraubzangen (*E, E*) unbeweglich festgehalten. Die Achillessehne wird, ohne die wichtigeren Blutgefäße zu lädieren, freigelegt und das Tier in der aus der Figur ersichtlichen Weise befestigt; dabei ruht es rittlings auf dem Sattelstück *C*.

Beim Versuch können die Bewegungen des einen oder der beiden M. gastrocnemii registriert werden.

4. Der Muskeltonus.

Man hängt einen geköpften Frosch in der schon erwähnten Weise an einem Stativ auf, nachdem man vorher den einen N. ischiadicus am Oberschenkel freigelegt und mit einem nicht zugezogenen Faden armiert hat.

Man achtet auf die Stellung der beiden Hinterbeine, daß sie sich in leicht flektierter Lage vorfinden und ziemlich genau symmetrisch gehalten werden. Wenn man nun mit dem Faden den Nerven hervorzieht und ihn mittels einer scharfen Schere durchschneidet, so wird man nach dem Verschwinden der durch den mechanischen Reiz hervorgerufenen Zuckung finden, wie das entsprechende Bein schlaffer herabhängt als das andere, dessen Nerv noch unversehrt ist.

Wenn man in früher angegebener Weise die hinteren Wurzeln freilegt und sie auf der einen Seite durchschneidet, auf der anderen Seite aber unversehrt läßt, und dann das Tier wie gewöhnlich aufhängt, so ist das Hinterbein auf der operierten Seite viel schlaffer als das auf der nicht-operierten Seite.

B. Das Gehirn.

1. Operationen am Gehirn.

Um das Großhirn eines Frosches zu exstirpieren, gibt man ihm Äther oder Urethan (vgl. oben S. 3), faßt ihn dann mit der linken Hand in



Figur 317.



Figur 318.

Figur 317. Operation am Froschhirn, nach Steiner. — Figur 318. Lanze zur Durchschneidung des Mittelhirns, nach Steiner.

einem Handtuch, welches das ganze Tier mit Ausnahme des Kopfes umschließt. Mit einer spitzen Schere macht man einen Hautschnitt, welcher die Mitte der Trommelfelle verbindet, ohne indessen die Trommelfelle zu erreichen, denn dabei entsteht eine starke Blutung. Von der Mitte dieses

Querschnittes macht man einen Schnitt in der Medianlinie des Kopfes bis etwas vor die Augen. Man faßt die Spitze jedes Lappens mit je einer kleinen Klemmpinzette, die liegen bleiben und also das Operationsfeld zugänglich machen (vgl. Fig. 317).

Mit einer kleinen Zange zerbricht man nun vorne die Ossa fronto-parietalia, führt die Blätter der Zange möglichst flach, erhebt die genannten Knochen und schneidet sie hinten durch. Das Gehirn liegt jetzt bloß; etwaige Blutungen werden durch Betupfen mit kleinen sterilisierten Schwammstückchen, die in der Pinzette gehalten werden, gestillt. Unterbindungen brauchen hier nicht gemacht zu werden.

Will man auch das Kopfmark freilegen, verlängert man den Hautschnitt nach hinten und hebt den hinteren Teil des Schädels mit den daran haftenden Muskeln mit der Knochenzange ab.

Die Abtrennung des Großhirns vom Zwischenhirn, bzw. des letzteren vom Mittelhirn geschieht mittels eines scharfen spitzen Messers, das in die Medianlinie eingesetzt und dann nach rechts und links, vor oder hinter dem Zwischenhirn geführt wird.

Vor jedem Eingriff in das Gehirn soll jede Blutung gestillt sein, so daß man das Operationsfeld genau übersehen kann.

Das Mittelhirn wird mit der in Figur 318 abgebildeten Lanze durchschnitten.

Das Kopfmark kann mit dem spitzen Messer oder der Lanze in verschiedener Höhe durchschnitten werden.

Nach beendigter Operation schlägt man die auseinander gezogenen Hautlappen einfach zu; man braucht nicht die Wunde zu reinigen oder sie zuzunähen.

Um die operierten Tiere aufzubewahren, muß man für jedes einen besonderen Behälter haben, weil sonst, wenn mehrere Tiere in einem Behälter zusammen sind, diese sich gegenseitig in vielfacher Weise stören und daher den Erfolg der Operation vereiteln können.

Steiner empfiehlt zu diesem Zwecke flache Zinkkästchen, welche durch feine Drahtgitter geschlossen sind und etwas schief gestellt werden, so daß das Wasser sich an den tieferen Stellen ansammelt. An der höher stehenden Seite des Kastens schließt eine Rinne an, durch welche man Wasser in den Kasten einfließen läßt, während sich auf der Gegenseite des Kastens eine Öffnung zum Ablassen des Wassers befindet.

Auf diese Weise kann man dem Behälter Wasser zu- und ableiten, sowie ihn reinigen, ohne den Frosch zu stören, während er selbst nach freier Wahl sich im Freien oder im Wasser aufhalten kann. Man legt einen langen Kasten an und teilt diesen in eine Anzahl kleinere Abteilungen.

Die operierten Tiere sollen sehr vorsichtig gefüttert werden, indem man zerkleinertes Froschfleisch in die geöffnete Mundhöhle tief hineinschiebt. Man füttere nur alle 5—6 Tage (Steiner).

2. Beobachtungen an operierten Fröschen.

Nach der Operation läßt man das Tier einige Tage in Ruhe, ehe man mit ihm Versuche anstellt.

Diese Versuche sollen sich speziell auf die Ortsbewegungen der Tiere, aber auch auf andere Vorgänge erstrecken. Es ist also an Tieren, welchen das Gehirn in verschiedenem Umfang zertrümmert worden ist, zu untersuchen

1. wie sie sich auf festem Boden verhalten, wenn sie nicht beunruhigt werden; dabei muß man insbesondere auf die Stellung und Haltung des Körpers achtgeben;

2. wie sie sich bewegen, wenn sie durch Reizung eines Hinterfußes zu Ortsveränderungen gezwungen werden;

3. wie sie dabei im Stande sind, Hindernissen auszuweichen;

4. wie sie sich im Wasser bewegen und wie sie vom Wasser wieder auf festen Boden kriechen;

5. ob sie und wie sie die dargebotene Nahrung aufnehmen; zu diesem Zwecke stellt man den Frosch mit einigen lebenden Fliegen unter eine Glasglocke;

6. die Reflexe bei Reizung der Rückenhaut (Quakreflex);

7. das Verhalten des Frosches, wenn er auf ein Brett gestellt wird, das allmählich um seine eine Kante erhoben wird;

8. das Verhalten des Frosches auf einer rotierenden Scheibe; dabei setzt man den Frosch auf die Scheibe in radialer Richtung mit dem Kopf nach der Peripherie;

9. das Verhalten des Frosches, wenn er auf den Rücken gelegt wird, bzw. ob er sich dabei wieder auf den Bauch wenden kann;

10. die Veränderungen der Hautfarbe.

II. Die warmblütigen Tiere.

A. Durchschneidung peripherer Nerven.

Die Durchschneidung eines peripheren Nervenstammes bietet vor allem wegen der darnach erfolgenden Degeneration ein großes Interesse dar.

Ein stark narkotisiertes Kaninchen wird auf das Operationsbrett in der Bauchlage gebunden und dann unter Beobachtung aller aseptischen Vorsichtsmaßregeln die Haut des Oberschenkels an der hinteren Seite von der Kniekehle nach oben in der Längsrichtung durchschnitten, das subkutane Gewebe und die Faszien in so großer Ausdehnung wegpräpariert, daß man zwischen dem M. biceps femoris und M. semimembranosus den N. ischiadicus mit einem stumpfen Haken erfassen kann. Man exzidiert von ihm ein Stück von wenigstens 2 cm Länge und schließt dann die Wunde, wie oben S. 24 näher beschrieben worden ist.

Nach der Operation prüft man von Zeit zu Zeit bei Reizung durch die Haut die Erregbarkeit der homologen Muskeln der hinteren Extremitäten für den konstanten Strom und für frequente Induktionsschläge.

Nachdem das Stadium erreicht worden ist, wo bei der elektrischen Reizung keine Zuckungen mehr von den gelähmten Muskeln erhalten werden können, wird das Tier getötet und die hinteren Extremitäten sorgfältig seziert.

B. Das Rückenmark.

1. Stenos Versuch.

Man faßt mit der linken Hand ein Kaninchen vom Rücken her, sucht unter den Hautdecken die Bauchaorta dort, wo man sie unterhalb des Diaphragmas pulsieren fühlt, auf und drückt dann das Gefäß mit dem zweiten Finger vollständig zusammen. Im selben Augenblick gibt man ein Zeichen zum Markieren der Zeit.

Das Tier sträubt sich anfangs, aber nicht viel; binnen kurzem liegen die hinteren Extremitäten ganz schlaff, und nach weniger als einer Minute sind sie gelähmt. Wenn man in diesem Stadium die Empfindlichkeit der Haut an den hinteren Extremitäten mit Nadelstichen untersucht, findet man, daß sie noch eine Zeitlang beibehalten ist und ihrerseits erst etwas später verschwindet.

Hört man nun nach einigen Minuten (5 Minuten) mit der Kompression auf, so dauert die motorische und die sensible Lähmung noch eine Zeitlang fort; dann stellt sich zuerst die Sensibilität und etwas später die Motilität wieder ein.

Die Zeit, wo diese Veränderungen erscheinen, wird nach der Uhr aufgezeichnet.

2. Rückenmarksreflexe.[1])

Als Präparat für das Studium der Rückenmarksreflexe dient entweder ein nach Sherrington geköpftes Tier (vgl. oben S. 19), oder auch ein Tier, an welchem man nach Freilegung des Kopfmarkes (vgl. S. 194) das Rückenmark an der unteren Grenze des Kopfmarkes abgeschnitten hat.

An einem solchen Präparat reizt man mit frequenten Induktionsströmen (schwingender Feder des Induktionsapparates) einen Hinterfuß, indem man um das geschorene Fußgelenk dünne Kupferdrähte in einer gegenseitigen Entfernung von 3—5 mm wickelt und diese Drähte unter Vermittlung eines

[1]) Für Operationen am zentralen Nervensystem sind im allgemeinen junge Tiere vorzuziehen, weil die Shockwirkungen bei ihnen wesentlich weniger bedeutend sind als bei älteren Tieren.

Unterbrechers mit der sekundären Rolle eines Induktionsapparates verbindet.

Auch kann man durch mechanische Reizung, wie Kneifen einer Zehe, Reflexe auslösen.

Hierbei braucht man die Kontraktionen nicht zu registrieren, sondern kann sich mit der direkten Beobachtung genügen lassen.

Unschwer kann man indessen die Bewegungen des Gastrocnemius registrieren, indem man den Oberschenkel durch einen am Kniegelenk angebrachten und von einem am Operationsbrette festgeschraubten Stativ getragenen Klemmer fixiert, die Achillessehne unter möglichst geringer Beschädigung der umgebenden Teile von ihrem Befestigungspunkte löst und sie mittels eines Fadens mit einem zweckmäßigen Schreibhebel, z. B. dem in der Figur 87 abgebildelten, verbindet.

Entsprechende Versuche können auch am Kaninchen ausgeführt werden, dem nur das Großhirn (vgl. S. 19) entfernt worden ist. In diesem Falle ist auch das Kopfmark an der Reflextätigkeit beteiligt, und das Tier atmet selbständig. Hier können die Atembewegungen in früher angegebener Weise registriert und ihre Abhängigkeit von sensiblen Reizen untersucht werden.

Über den Blutdruck nach Durchschneidung des Halsmarkes vgl. oben Seite 133.

Eine besondere Berücksichtigung erfordert noch der sogen. Sehnenreflex. Wenn man an einem narkotisierten Kaninchen das Hinterbein im Kniegelenk beugt, so daß die Sehne des Extensor cruris etwas gespannt ist und dann mittels eines Skalpellstiels oder mit der Fingerspitze einen leichten, schnellen Schlag auf die Sehne ausübt, so zieht sich der betreffende Muskel plötzlich zusammen.

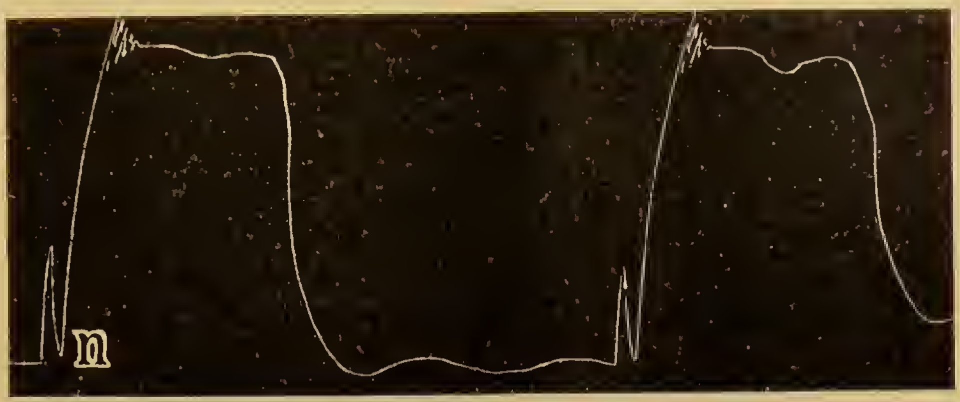
Dieselbe Wirkung wird auch nach Eröffnung des Kniegelenkes durch Klopfen mit einem Skalpellstiel auf die freigelegte Gelenkfläche des Oberschenkels und des Unterschenkels erzielt. Dabei kann man bei einseitiger Reizung nicht allein bei dem gleichseitigen, sondern auch bei dem gekreuzten Extensor cruris Kontraktionen erhalten.

Die Eröffnung des Kniegelenkes findet beim Kaninchen in der Weise statt, daß man auf der Vorderseite des Kniegelenkes einen Schnitt von ein paar Zentimeter Länge macht, die Extensorsehne von der Tibia ablöst und sie soweit freipräpariert, daß man durch einen in querer Richtung geführten Schnitt die Gelenkhöhle öffnen kann.

Um den Sehnenreflex beim Menschen nachzuweisen, legt man den Unterschenkel der sitzenden Versuchsperson über den gekreuzten Oberschenkel, so daß ersterer ganz schlaff herabhängt. Mit einem Hammer oder mit dem Rande der Hand klopft man nun auf die Sehne unterhalb der Kniescheibe und kann dann die Kontraktion des Extensors an der Bewegung des Unterschenkels erkennen.

Diese Bewegungen lassen sich ohne Schwierigkeit registrieren, indem man mittels eines breiten Bandes einen Gummiballon auf der Mitte des

Oberschenkels befestigt und diesen mit einer Schreibkapsel verbindet. Die Dickenveränderungen des Extensors werden dabei registriert, und zu gleicher



Figur 319. Kniereflex beim Menschen. 50 mm/Sek.

Zeit markiert sich der Stoß auf der Kniesehne, d. h. der Moment der Reizung, durch einen kleinen Knick an der Kurve (Fig. 319).

C. Das Gehirn.

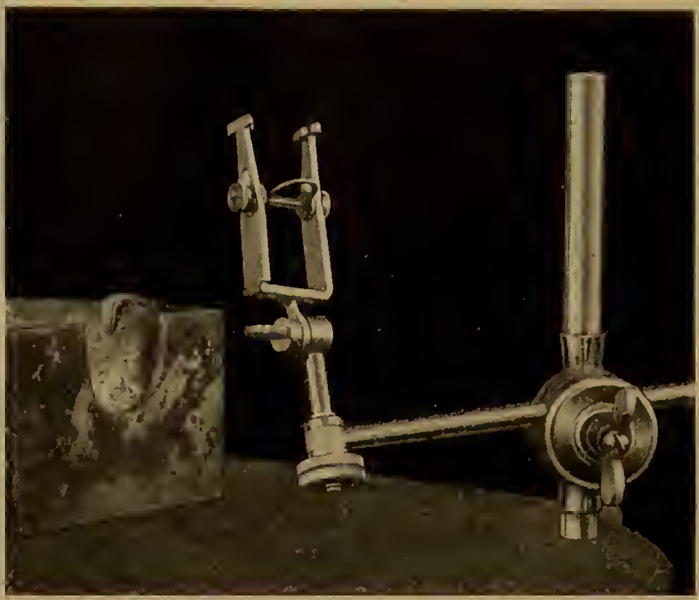
1. Die Wirkung der Erstickung auf einige verschiedene Zentren.

An einem mit Chloral oder Äther narkotisierten Kaninchen wird die Trachea gebunden und das Tier also erstickt. Vorher hat man die Carotis mit einem Quecksilbermanometer verbunden, eine Doppelkapsel (S. 184) zur Registrierung der Atembewegungen um den Thorax gelegt und, wenn möglich, außerdem einen, seinerseits wiederum mit einer Schreibkapsel verbundenen Ballon über die Muskulatur eines Hinterbeines gebunden. Hierbei werden also die wichtigsten Verrichtungen des Körpers registriert, und aus den solcherart zu erhaltenden Kurven bekommt man Kenntnis von dem Erregungsverlauf und der Ausdauer der Zentren für die Gefäßnerven, den Herzvagus, die Atembewegungen und die Bewegungen der willkürlichen Muskeln.

2. Die Exstirpation des Großhirns bei der Taube.

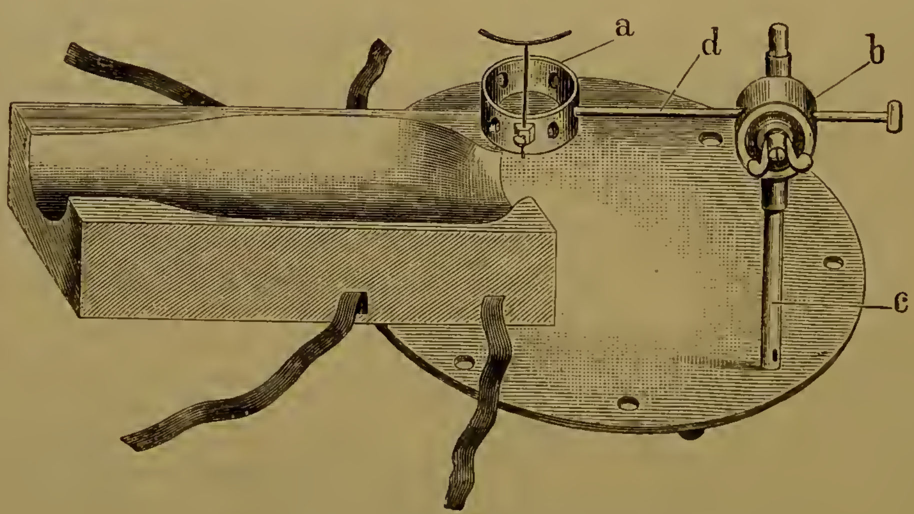
Die Taube wird nach 18—24 stündigem Hunger mit Chloroform narkotisiert und dann entweder in ein Handtuch gewickelt oder auch durch den in Figur 320 dargestellten Kopfhalter gefesselt. Dieser besteht aus einem U-förmigen Gestell, dessen einer Schenkel mit dem Verbindungsstück durch ein Charnier verbunden ist. An den freien Enden tragen die Schenkel je ein kurzes, senkrecht angesetztes Querstück, sowie nach innen ein flaches Knöpfchen. Etwa in ihrer Mitte ist in die Schenkel des U-stückes der Länge nach eine Spalte gefeilt; durch die beiden Spalten ist ein Querstab gesteckt, der durch Schrauben in beliebiger Entfernung von dem oben ge-

nannten Knöpfchen festgestellt werden kann. An dem Querstab selbst ist ein halbkreisförmiger Bügel befestigt. Der Halter wird nun so an den Kopf gelegt, daß die Knöpfchen, welche sich am Ende der Schenkel befinden, jederseits in der äußeren Ohröffnung liegen und daß der Ober-



Figur 320. Kopfhalter für die Taube, nach Trendelenburg.

schnabel durch den halbkreisförmigen Bügel gesteckt wird; der Unterschnabel, vom ersteren durch den im Munde liegenden Querstab getrennt, bleibt ohne besondere Befestigung. An dem Verbindungsstücke der U-Schenkel befindet sich ein Ansatz, an dem der Kopfhalter um die quere



Figur 321. Ewalds Taubenhalter.

Kopfachse gedreht werden kann. Das den Kopfhalter tragende Gestänge, welches noch Drehungen des Kopfes um die senkrechte Achse gestattet, wird an Ewalds in der Figur 321 abgebildetem Taubenhalter befestigt.

Unter aseptischen Kautelen findet die Operation dann statt, indem zuerst die Federn weggeschnitten oder gerupft (vgl. S. 290) und dann die

Haut über dem Schädeldach durch einen medianen Schnitt gespalten und die beiden Hälften auseinandergezogen werden. Mittels einer feinen Zange wird jetzt das Schädeldach weggenommen unter sorgfältiger Schonung der großen Blutleiter. Die Dura wird parallel der Falx und dem hinteren Knochenrande eingeschnitten, die Falx vorn durchschnitten und torquiert. Mit einem glatten dünnen Spatel, der beiderseits unter die Schläfenlappen geschoben wird, lassen sich nun die beiden Hemisphären abheben und nach vorn umklappen; in der Gegend der vorderen Kommissur werden die Pedunculi cerebri durchtrennt. Bei etwa vorhandenen reichlicheren Blutungen wird mit kühlem Wasser gespült, bis die Orientierung über die Operation möglich ist, und dann die Haut genäht (Schrader).

Um die Blutung zu stillen, rät Fuchs, die Wundhöhle vorsichtig mit Penghawar oder Eisenchloridwatte ohne stärkeren Druck zu tamponieren.

Trendelenburg wendet zunächst die doppelte Unterbindung des Sinus an. Nach stattgefundener Exstirpation werden die schon vor der Entfernung des Gehirns durch die Hautränder gezogenen Fäden schnell hoch gehoben, wodurch sich die Hautränder aneinander legen; nun wird sofort eine gebogene, in Längsrichtung dem Schädel anpassende Klemme möglichst dicht am Schädel der Haut von beiden Seiten angelegt. Hierdurch wird erreicht, daß sich nur eben der durch die Hirnentfernung freigewordene Raum mit Blut füllen kann.

Die Fäden können jetzt in Ruhe geknotet werden, die Klemme wird bald vorsichtig entfernt, ohne daß es zu Nachblutungen kommt.

Auf die Nahtstelle wird eine ganz dünne Lage Watte aufgelegt; sie klebt durch die Spuren von austretendem Blut an und bildet dann genügenden Schutz. Die Fäden brauchen nicht entfernt zu werden. Auch kann der Kollodiumverband hier benutzt werden.

Während der ersten Stunden hält man die Tauben in ein Handtuch eingewickelt, das vorn und hinten durch Sicherheitsnadeln so zusammengesteckt wird, daß das Tier nicht heraus kann. Ist das Tier vormittags operiert, so kann man es nachmittags auswickeln.

Als Nahrung gibt man dem Tier Erbsen oder kleinkörnigen Mais, zweimal täglich je etwa 30 Körner, etwas weniger, wenn der Kropf zur Fütterungszeit noch nicht leer geworden ist, was sich leicht von außen durchfühlen läßt. Man wickelt das Tier in ein Handtuch ein, hält mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand den Schnabel auf, führt mit der rechten zwei bis drei Körner auf einmal ein, ohne weitere Manipulationen anzuwenden; die sogleich eintretende Schluckbewegung befördert die Körner weiter. Wasser wird mit einer Saugpipette gegeben. Man überzeuge sich nach dem Füttern durch Befühlen des Halses von außen, daß alle Körner auch wirklich bis in den Kropf befördert werden und keins weiter oben stecken blieb, wodurch das Tier ersticken kann (Trendelenburg).

3. Reizung der Großhirnrinde beim Kaninchen.

Man narkotisiert das Tier mit Chloral; wenn das Tier während der Operation unruhig werden sollte, wird die Narkose durch Äther-Inhalation verstärkt.

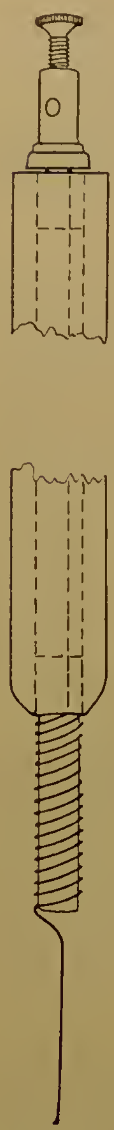
Das Schädeldach wird in der oben (S. 213) angegebenen Weise entfernt; dabei soll man vor allem die vordersten Teile des Großhirns freilegen (vgl. Fig. 202).

Die Reizung findet mit frequenten Induktionsströmen unter Anwendung der monopolaren Methode (S. 37) oder mit zwei dicht aneinander stehenden feinen und, um Verletzung der Hirnrinde vorzubeugen, kurz umgebogenen Platinspitzen statt. Noch besser läßt sich die Beschädigung der Hirnrinde durch die von Sherrington (Fig. 322) angegebene Elektrode mit eingeschalteter Drahtspirale vermeiden.

Die Reizstärke soll etwa so groß sein, daß man den Strom gerade an der Zunge fühlt. Sie ist übrigens von dem Zustande des Tieres, von der Tiefe der Narkose usw. abhängig. Jedenfalls soll man immer vermeiden, zu starke Ströme zu benutzen, und sucht also denjenigen schwächsten Strom auf, durch welchen man gerade eine Wirkung von der gereizten Stelle aus erzielt.

Man tastet mit der Elektrode die verschiedenen Orte der Großhirnrinde in dieser Weise ab und trägt die Befunde in ein Schema der Hirnoberfläche ein. Dabei notiert man auch diejenige Stromstärke, welche bei jedem Orte gerade genügt, um eine deutliche Wirkung hervorzurufen.

Um eine Vorstellung von dem Einfluß des Großhirns auf die vegetativen Verrichtungen des Körpers zu erhalten, registriert man in einem Versuche auch den Blutdruck bei Reizung verschiedener Stellen der Großhirnrinde.



Figur 322. Elektrode, nach Sherrington.

Der Vertrocknung und Abkühlung des Großhirns wird dadurch vorgebeugt, daß man die entblößte Hirnrinde von Zeit zu Zeit mit warmer 0.9 prozentiger Kochsalzlösung überrieselt.

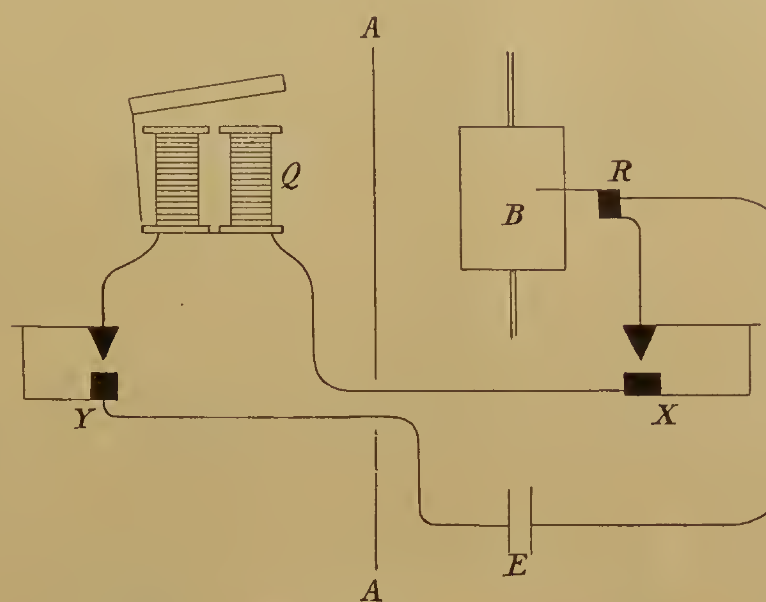
III. Bestimmung der Reaktionszeiten.

A. Die einfache Reaktionszeit.

Wie aus dem Kapitel XIII, S. 234f. hervorgeht, erfordert die Fortpflanzung der Erregung durch die zentripetalen und die zentrifugalen Nerven und also auch durch die Leitungsbahnen im zentralen Nervensystem eine gewisse Zeit; auch dauert es eine gewisse Zeit zwischen dem Augenblick.

wo der Muskel von einem Reiz getroffen wird, und dem Beginn der Muskelkontraktion.

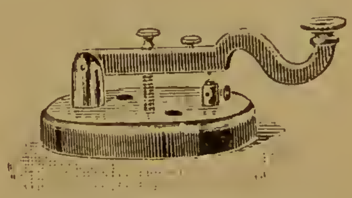
Man kann deshalb von vornherein sagen, daß eine meßbare Zeit verstreichen muß, ehe eine vorher verabredete willkürliche Bewegung nach einer sensiblen Reizung erscheint. Die Bestimmung dieser Zeit, der einfachen Reaktionszeit, findet in folgender Weise statt.



Figur 323. Schema zum Versuch über die Reaktionszeit.

Angenommen, daß die Versuchsperson mit einer Bewegung der rechten Hand auf eine Gehörreizung reagieren soll. Als Gehörreiz benutzen wir das Geräusch, welches beim plötzlichen Herabziehen eines Ankers von einem kräftigen Elektromagneten beim Schluß des Stromes entsteht. Es soll also der Augenblick der Reizung und der Augenblick der darauf folgenden Bewegung der rechten Hand bestimmt werden.

Hierbei soll nun, wenn nur irgend möglich, der Versuch so angeordnet werden, daß sich die Versuchsperson in einem anderen Zimmer als der Leiter des Versuches befindet, damit erstere die Gelegenheit habe, ihre Aufmerksamkeit möglichst stark auf die zu erwartende Reizung zu konzentrieren.



Figur 324. Elektrischer Taster, nach Zimmermann.

In der Figur 323 stellt *AA* die Scheidewand zwischen den beiden Zimmern dar; *B* ist ein Registrierapparat, der sich genügend gleichmäßig bewegen muß[1]; *X* ist ein elektrischer Taster (Fig. 324), der vom Leiter des Versuches bewegt wird, *Y* ein ähnlicher, von der Versuchsperson behandelter. Die beiden Taster sind in der aus der Figur ersichtlichen Weise durch Leitungsdrähte mit einer Batterie *E*, dem Elektromagneten *Q* und dem elektrischen

[1]) Wenn dies nicht der Fall ist, muß zur Zeitbestimmung noch eine Stimmgabelkurve gezeichnet werden.

Signal *R* verbunden. Der Taster *Y* ist geschlossen, der Taster *X* aber offen. Wenn *X* von dem Leiter des Versuches geschlossen wird, wird die ganze Strombahn geschlossen, die Schreibspitze des Signals geht nach unten. und das Geräusch entsteht im Magneten *Q*.

Sobald die Versuchsperson die Gehörerregung wahrgenommen hat, soll sie ihren Taster öffnen: das Signal zeichnet wieder eine vertikale Linie. Da man nun die Geschwindigkeit des Registrierzylinders kennt, erhält man durch Messung der Entfernung der beiden Linien die gesuchte Reaktionszeit.

Man kann solche Versuche entweder mit einem kurz vor der Sinnesreizung abgegebenen Avertissement oder ohne ein solches ausführen.

Im ersten Falle braucht die Versuchsperson überhaupt nicht an den Versuch zu denken, bevor das Avertissement gegeben wird: dann hat sie für die kurze Zeit von ein paar Sekunden ihre Aufmerksamkeit im höchsten Grade auf die zu erwartende Reizung zu spannen; sie kann deshalb sehr schnell reagieren, und die Reaktionszeit wird sehr kurz.

Bei Versuchen ohne Avertissement muß dagegen die Versuchsperson während der ganzen Zeit auf die zu erwartende Reizung gespannt sein. Da dies aber nicht gerade leicht ist, wird es nicht selten eintreffen, daß die Reaktionszeit ziemlich lang wird, indem die Versuchsperson nicht ununterbrochen ihre Aufmerksamkeit auf der maximalen Höhe erhalten kann.

Die Versuche ohne Avertissement sind auch viel anstrengender.

Man sollte diese Versuche in zwei Reihen, mit oder ohne Avertissement, ausführen. Mit Avertissement können die Einzelbestimmungen zwei- bis dreimal in der Minute während $^1/_4$ Stunde stattfinden. Ohne Avertissement ist es zweckmäßig, die einzelnen Bestimmungen in sehr variierenden Intervallen folgen zu lassen, z. B. nach 1 Minute, nach 2—3 Minuten, nach 30 Sekunden usw. Damit fährt man etwa $^1/_2$ Stunde fort.

Es empfiehlt sich bei der ersten Anordnung, den Zylinder ununterbrochen gehen zu lassen. Bei der zweiten würde das zu viel Raum beanspruchen, weshalb der Zylinder nur für jede Bestimmung in Gang gesetzt werden soll. Hierbei muß man aber jedesmal die Dauer des Intervalls auf dem Papier verzeichnen, um später nachweisen zu können, in welcher Richtung ein verschieden langes Intervall auf die Reaktionszeit einwirkt, was gewissermaßen als Maß der Aufmerksamkeit dienen kann, indem wir dadurch erfahren, wie sich die Reaktionszeit verändert, je nachdem wir durch verschieden große Intervalle verschieden große Ansprüche an die Aufmerksamkeit stellen.

Bei entsprechenden Versuchen an anderen Sinnen können z. B. folgende Vorrichtungen dienen. Beim Gesichtssinn läßt man den Elektromagneten *D* in der Figur 323 einen Schirm bewegen; als Gesichtsreizung dient die Bewegung des Schirmes.

Zur mechanischen Reizung der Haut befestigt man am Anker des Elektromagneten *D* einen Hammer und läßt ihn gegen die darunter gehaltene Hand schlagen.

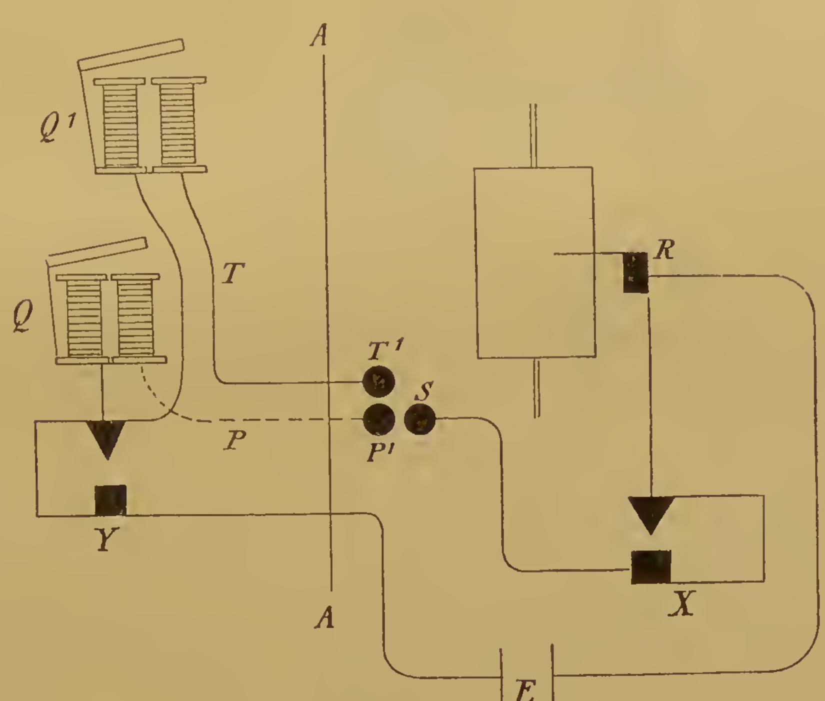
Elektrisch wird die Haut gereizt, wenn statt des Elektromagneten *D* zwei bis auf die Spitze isolierte Drähte in die Leitung eingefügt werden und diese Drähte mittels einer Bandage an der Hand der Versuchsperson befestigt werden.

Es ist von Interesse, an einer und derselben Versuchsperson Versuche mit diesen verschiedenen Reizarten auszuführen.

Bei dieser Versuchsanordnung kommen als psychophysische Prozesse die Apperzeption des Reizes und die Abgabe des Willensimpulses in Betracht. Man kann sie aber komplizieren, indem man die Versuche so anordnet, daß hierzu noch die Unterscheidung einer bestimmten Eigenschaft des Reizes hinzukommt. Zu diesem Zwecke können folgende Versuchsanordnungen dienen.

B. Komplizierte Reaktionsversuche.

Es werden zum Versuch zwei Elektromagnete (Q, Q_1) benutzt (Fig. 325); der eine gibt ein stärkeres Geräusch als der andere — was sich leicht



Figur 325. Schema.

durch Einschiebung von etwas Papier zwischen die Pole und den Anker erzielen läßt; die Versuchsperson darf erst dann reagieren, wenn sie bemerkt hat, ob das stattgefundene Geräusch das stärkere oder schwächere gewesen ist.

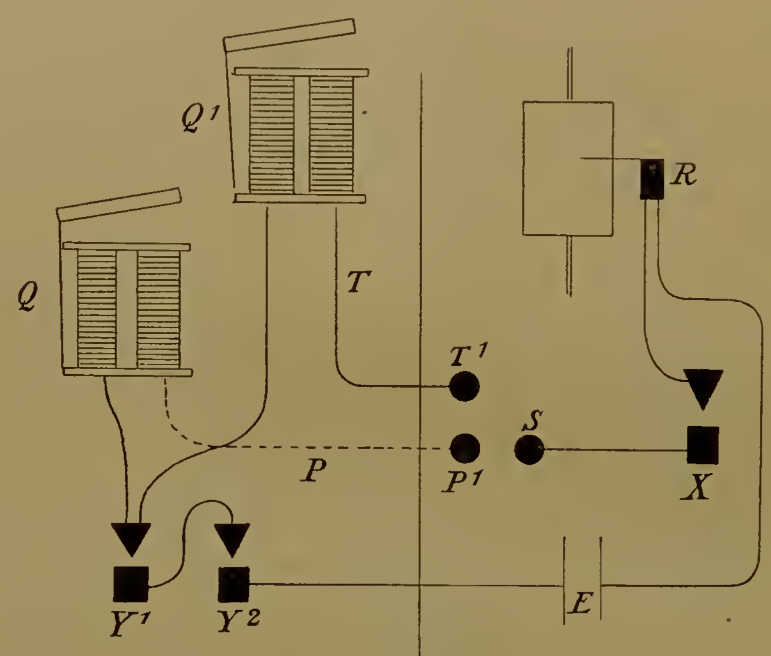
Die Aufstellung des Versuches ist aus der Figur 325 ersichtlich. Die beiden Elektromagnete sind durch die Drähte *P* und *T* mit den Quecksilbergefäßen P^1 und T^1 verbunden. Je nachdem der Leiter der Versuches das eine oder das andere mit dem Quecksilbernäpfchen *S* verbindet, geht der

Strom durch den einen oder anderen Magneten. Von seinem Zimmer her kann also der Versuchsleiter den die Versuchsperson dargebotenen Reiz verändern.

Bei allen Versuchen mit akustischer Reizung sollen die Elektromagnete so gestellt sein, daß die Versuchsperson sie nicht sehen kann.

Ähnliche Versuche mit optischen Reizen können so ausgeführt werden, daß der eine Elektromagnet eine blaue, der andere eine rote Scheibe trägt. Die Versuchsperson soll erst dann reagieren, nachdem sie sich von der Farbe der bewegten Scheibe überzeugt hat.

Bei Hautreizung befestigt man je zwei Elektroden an zwei verschiedenen Stellen der Haut: die Reaktion darf erst dann erfolgen, wenn die Versuchsperson sich klar gelegt hat, welche Stelle gereizt worden ist.



Figur 326. Schema.

Die Versuche können noch mehr kompliziert werden, wenn man nicht allein die Unterscheidung zweier Eindrücke desselben Sinnes verlangt, sondern noch fordert, daß die Reaktion je nach der verschiedenen Reizung in verschiedener Weise ausgeführt werden soll.

Wir nehmen z. B. an, daß zwei Gehöreindrücke, ein stärkerer und ein schwächerer, zu erwarten sind; für den ersten soll mit der rechten Hand, für den zweiten mit der linken reagiert werden. Hier muß die Versuchsperson also nach stattgefundener Unterscheidung der Reizstärke noch die Wahl zwischen der rechten und der linken Hand bei der Reaktion treffen.

Die Versuchsanordnung ist die gleiche wie die in Figur 325 dargestellte, nur kommt noch ein zweiter Taster (Y^1, Y^2) für die Versuchsperson hinzu (vgl. Fig. 326).

Man kann in gleicher Weise mit den anderen Sinnen Versuche machen.

Eine weitere Verwicklung des Reaktionsversuchs bildet folgende Aufgabe. Man nennt ein Wort, z. B. Pferd, die Versuchsperson soll ein anderes

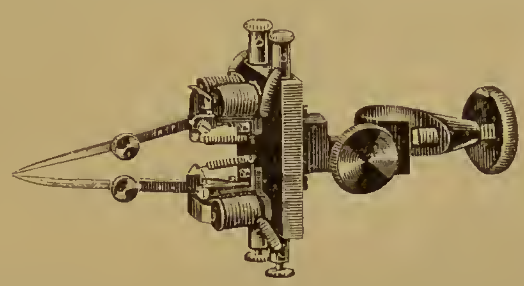
Wort finden, welches mit dem ersten in irgendwelcher direkter oder indirekter Beziehung steht, z. B. Roß — Wagen — Reiter — Esel usw. Die zu dieser Assoziation nötige Zeit wird einfach dadurch bestimmt, daß der Leiter des Versuches seinen Taster im selben Moment schließt, wo er das Wort ausspricht, und die Versuchsperson im Moment der Aussprechung ihren Taster öffnet.

C. Die Reproduktion rhythmischer Vorgänge.

In gewissem Zusammenhang mit den Bestimmungen der Reaktionszeit stehen Versuche über die Genauigkeit, mit welcher man einen gewissen Rhythmus wiederholen kann.

1. Reproduktion des Rhythmus eines Metronoms.

Der Strom zu einem elektrischen Signal wird mittels eines Metronoms regelmäßig in einem bestimmten Rhythmus geöffnet und geschlossen, und



Figur 327. Doppelsignal, nach Langendorff.

dieser Rhythmus durch das Signal auf den Zylinder registriert. Gleichzeitig sucht die Versuchsperson denselben Rhythmus durch Handbewegungen wiederzugeben, und zwar, indem diese ihrerseits auf einen zweiten Elektromagneten einwirken. Nach Ende des Versuches kann man die erzielte Genauigkeit an der Hand der gegenseitigen Verschiebungen der Kurven messen.

Es ist selbstverständlich, daß die Schreibspitzen der beiden Signale genau senkrecht übereinander stehen müssen. Sehr bequem ist dabei das in Figur 327 abgebildete Doppelsignal von Langendorff.

Um den Strom zum zweiten Signal bequem öffnen und schließen zu können, befestigt man an einem ledernen Armband die Leitungsdrähte und vereinigt sie dort mit zwei feinen Drähten, die zu je einem metallenen Ring am Daumen und Zeigefinger gehen. Die geringste Bewegung genügt, um den Strom zu schließen und zu öffnen.

2. Signalisierung der Herztöne.

Zur weiteren Übung kann man auch die Herztöne am Menschen auskultieren und in der hier erwähnten Weise signalisieren; wenn man über die

Signalkurve noch die Kurve des Herzstoßes oder des Pulses schreibt, bekommt man eine approximative Vorstellung von der Lage der Herztöne in bezug auf die in den genannten Kurven ausgedrückten Vorgänge.

3. Die persönliche Äquation.

Man befestigt ein Pendel an der Wand und stellt auf den tiefsten Punkt seiner Bahn einen elektrischen Kontakt, der vom Pendel bei dessen Bewegung unterbrochen wird. Der Kontakt steht mit dem elektrischen Signal in Verbindung. Nun läßt man das Pendel sich bewegen und beobachtet genau dessen Bewegung, um im selben Augenblick, wo das Pendel den Kontakt löst, dies in der schon angegebenen Weise zu signalisieren. Der dabei stattfindende zeitliche Unterschied (die persönliche Äquation) wird an der Kurve gemessen.

Es ist natürlich vorteilhaft, wenn das Pendel sich möglichst langsam bewegt, und es bietet ja keine Schwierigkeit dar, ein Holzpendel von 2—3 m Länge mit einer genügend schweren Kugel zu improvisieren, da die Aufgabe bei diesem Versuch nicht darin liegt, die Schwingungsdauer des Pendels zu bestimmen, sondern die Genauigkeit zu ermitteln, mit welcher man ein bestimmtes Moment einer die ganze Zeit sichtbaren Bewegung signalisieren kann.

Leichter läßt sich dieser Versuch ausführen, wenn man statt des Pendels einen mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 mm pro Sekunde rotierenden Registrierzylinder mit festem Kontaktunterbrecher (S. 234) benutzt. Gerade über den Dorn zieht man am Zylinder eine vertikale Linie. und es gilt nun in der schon erwähnten Weise den Augenblick zu signalisieren, in welchem der Kontakt bei der Bewegung des Zylinders unterbrochen wird. Am selben Zylinder können natürlich die Signalkurven aufgezeichnet werden.

Bei allen diesen Versuchen muß man auch die Schnelligkeit kennen, mit welcher das elektrische Signal auf den Stromschluß und die Stromöffnung reagiert. Wie man solche Bestimmungen ausführt, ist schon oben S. 236 angegeben.

Zusatz zu Seite 286.

Als Standardlösungen zur Bestimmung der Erkennungsschwelle bei der Anwendung eines Porzellanzylinders empfiehlt ZWAARDEMAKER paraffinöse Lösungen von Isoamylazetat 0.5 Proz., Nitrobenzol 5 Proz., Terpineol 2.5 Proz., Äthylbisulfid 0.01 Proz., Guajakol 0.1 Proz., Valeriansäure 0.01 Proz., Pyridin 1 Proz., Skatol 0.1 Proz.

Diese sind nach Bedarf weiter zu verdünnen. Wenn schon bei 1 mm etwas vom Dufte gespürt wird, ist es zweckmäßig den Versuch abzubrechen und die Riechstofflösung weiter zu verdünnen.

Register.

Druck von Fischer & Wittig in Leipzig.